

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ С.В. Іващенко
« ____ » _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
на тему: «Вплив матеріалів анодів (W, Cr, C) на структуру і властивості сталі 40X13
при послідовному електроіскровому легуванні»**

Виконала:

студент VI курсу, групи ФМ-71мп
Вознюк Олександра Володимирівна _____

Керівник:

доцент, к.т.н.,
Іващенко Є.В. _____

Консультанти із експериментальної частини:

доцент, к.т.н.,
Лобачова Г.Г. _____

Консультант з охорони праці безпеки в надзвичайних ситуаціях:

професор, д.т.н.,
Левченко О.Г. _____

Консультант із розробки стартап-проекту:

доцент, к.е.н.,
Глущенко Я.І. _____

Консультант із питань нормоконтролю:

асистент КФМ,
Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н.,
Бобіна М.М. _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство (Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Вознюк Олександрі Володимирівні

1. Тема дисертації «Вплив матеріалів анодів (W, Cr, C) на структуру і властивості сталі 40X13 при послідовному електроіскровому легуванні», науковий керівник дисертації Іващенко Євген Вадимович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2018 р. № 4127-с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження – поверхневі шари сталі 40X13, отримані електроіскровим легуванням вольфрамом, хромом та графітом на повітрі.
4. Вихідні дані: Сталь 40X13, чисті метали W, Cr та C.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
 - 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
 - 3) провести електроіскрове легування;
 - 4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
 - 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.;
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 39 рисунків та презентація.
7. Орієнтовний перелік публікацій:
 - 1) Іващенко Є.В. Формування зносостійких зміцнених покриттів на поверхні сталі Ст.3 послідовним електроіскровим легуванням хромом та міддю в інертному середовищі та на повітрі / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, О.В. Вознюк // Проблеми тертя та зношування. – № 2(79), – 2018. – С. 72 – 77.
 - 2) Вознюк О.В., Іващенко Є.В., Лобачова Г.Г. Формування зміцненого шару на сталі Ст.3 електроіскровим легуванням хромом та міддю в інертному середовищі та на повітрі // Збірка тез доповідей XI Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів», 19 – 20 квітня 2018 р., Київ, Україна. – С. 35 – 37.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	Лобачова Г.Г., доцент, к.т.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., професор, д.т.н.		
Розробка стартап-проекту	Глушенко Я.І., доцент, к.е.н.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд джерел та написання літ. огляду		
2.	Підготовка зразків для електроіскрового легування (ЕІЛ)		
3.	Проведення ЕІЛ та гравіметрія		
4.	МікродюрOMETричний аналіз		
5.	Рентгенофазовий аналіз зразків після ЕІЛ		
6.	Проведенні дослідження на зносостійкість зразків після ЕІЛ		
7.	Аналіз результатів та написання диплому		
8.	Захист		

Студент

О.В. Вознюк

Науковий керівник дисертації

Є.В. Іващенко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація : 86 с., 17 табл., 39 рис., 48 джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, СТАЛЬ 40X13, ЗМІЦНЕННЯ, ЛЕГОВАНІЙ ШАР, ВОЛЬФРАМ, ХРОМ, ГРАФІТ.

Об'єкт дослідження – поверхневі шари сталі 40X13, отримані електроіскровим легуванням анодами вольфраму, хрому та графіту на повітрі.

Метою даної роботи є дослідження будови та властивостей поверхневих шарів сталі 40X13 після електроіскрового легування (ЕІЛ) вольфрамом, хромом і вуглецем в різній послідовності.

Методи дослідження – мікроструктурний, мікродюрOMETричний, гравіметричний, рентгеноструктурний, випробування на зносостійкість.

Продемонстрована можливість створення зміцнених покриттів електроіскровим легуванням сталі 40X13 за схемами W-Cr-C, W-C-Cr, Cr - W- Ста Cr-C-W (з мікротвердістю до 7 ГПа – 11,6 ГПа) товщиною від 15 мкм до 30 мкм.

Зафіксовано, вплив послідовності нанесення вольфраму, хрому та графіту в процесі електроіскрового легування сталі 40X13 на кінетику формування легованого шару, структуру та фазовий склад, поверхневу мікротвердість та стійкість до зношування.

Виявлено, що найбільшу зносостійкість має легований шар при послідовності легування Cr-W-C (в 3,6 разів в порівнянні з необробленим зразком), а найвищу мікротвердість (11,6 ГПа) – легований шар після ЕІЛ сталі в послідовності W-C-Cr.

Практичне значення: отримані в роботі результати та встановлені закономірності формування структури та властивостей легованих шарів в результаті електроіскрового легування можуть бути використані для подовження строку експлуатації деталей машин та механізмів.

ABSTRACT

Master Thesis: 86 p., 17 tab., 39 fig., 48 sources.

ELECTRIC-SPARK ALLOYING, STEEL MARK 40X13, HARDENING, ALLOYED LAYER, TUNGSTEN, CHROME, GRAPHITE.

The object of the study is the surface layers of 40X13 steel obtained by the electrospark alloying of tungsten, chromium and graphite in the air.

The purpose of this work is to study the structure and properties of surface layers of steel 40X13 after electrospark alloying (ESA) tungsten, chromium and carbon in different sequences.

Investigation methods - microstructural, microdurmetric, gravimetric, X-ray, wear resistance test.

The possibility of hardened coatings creation by the electric-spark alloying of steel 40X13 according to schemes W-Cr-C, W-C-Cr, Cr-W-C and Cr-C-W (with a microhardness up to 7 GPa - 11.6 GPa) in the thickness from 15 microns to 30 microns was shown.

It was recorded the influence of the sequence of tungsten, chromium and graphite application in the process of electric-spark alloying of steel 40X13 on the kinetics of the alloyed layer formation, structure and phase composition, surface microhardness and wear resistance.

It was found that the highest wear resistance is due to the alloyed layer at the Cr-W-C alloying sequence (3.6 times as compared to the untreated sample), and the highest microhardness (11.6 GPa) alloyed layer after ESA of steel in the W-C-Cr sequence.

Practical value: the results obtained in the work and the established patterns of formation of the structure and properties of the alloyed layers as a result of the electric-spark alloying can be used to extend the life of the parts of machines and mechanisms.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Загальні відомості про ЕІЛ.....	9
1.2 Суть методу електроіскрової обробки	10
1.3 Модель процесу електроіскрового легування за теорією Лазаренків .	12
1.4 Модель процесу ЕІЛ за А.Д. Верхотуровим	13
1.5 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ	14
1.6 Електродні матеріали.....	16
1.7 Висновки до розділу 1	22
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1 Матеріали для дослідження	24
2.2 Електроіскрове легування	25
2.3 Використані методи для дослідження оброблених зразків	26
2.3.1 Гравіметричний аналіз.....	26
2.3.2 Мікроструктурний аналіз	27
2.3.3 МікродюрOMETричний аналіз.....	28
2.3.4 Рентгенофазовий аналіз.....	30
2.3.5 Дослідження на зносостійкість.....	31
2.3 Висновки до розділу 2	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	33
3.1 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою W-C-Cr	33
3.2 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою W-Cr-C	36
3.3 Зносостійкість поверхонь сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами W-Cr-C та W-C-Cr	41
3.4 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою Cr-W-C	42
3.5 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою Cr-C-W	45
3.6 Зносостійкість поверхонь сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами Cr-W-C та Cr-C-W	47

3.7 Порівняльна характеристика шарів отриманих при ЕІЛ анодами W, Cr та С	48
3.8 Висновки до розділу 3	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	57
4.1 Правові та організаційні основи охорони праці в КПІ ім. Ігоря Сікорського	57
4.2 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	58
4.2.1 Мікроклімат	58
4.2.2 Освітленість	59
4.2.3 Шум	61
4.2.4 Електробезпека.....	61
4.2.5 Запиленість та загазованість	63
4.2.6 Виробниче випромінювання	64
4.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	65
4.3.1 Розрахунок вентиляції	65
4.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям	68
4.4.1 Пожежна безпека.....	68
4.4.2 Вимоги до безпеки в надзвичайних ситуаціях	70
4.4.3 Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях.....	71
4.5 Висновки до розділу 4	71
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	72
5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	72
5.2 Висновки до розділу 5	78
ВИСНОВКИ.....	79
CONCLUSIONS	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	81

ВСТУП

Сьогодні невпинно зростають вимоги до механічних характеристик деталей машин. Така тенденція обумовлена не тільки економічними факторами, а й глобальним рухом за екологічність підприємств, що спонукає сучасне матеріалознавство створювати більш довговічні покриття та матеріали.

Працюючи в складних умовах деталі машин схильні до стирання та зношування, що призводить до зменшення строку їх експлуатації. Збільшення строку експлуатації та покращення механічних характеристик деталей машин і механізмів було і залишається однією з важливіших задач фізичного матеріалознавства.

Базуючись на засадах доступності матеріалів, економічності, екологічності та простоті використання методу обробки сталей та сплавів електроіскрове легування (ЕІЛ) залишається перспективним методом, для створення зміцненого шару на поверхні готового виробу та відновлення працездатності деталей і інструментів, у різних галузях промисловості, включаючи і авіапромисловість. Електроіскровий метод заснований на явищі електричної ерозії аноду при пропусканні іскрового розряду та полярному перенесенні продуктів ерозії з аноду (легуючого електроду) на катод (деталь) з утворенням поверхневого модифікованого шару.

В даній магістерській дисертації, на основі аналізу літературних даних, розглянуто вплив легуючих елементів (хрому, графіту та вольфраму) та послідовності їх нанесення при ЕІЛ на будову та властивості поверхневих шарів сталі 40Х13.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

У більшості сучасних машин зносу піддаються поверхні тертя спряжених деталей (наприклад зубці шестерень редуктора, направляючі та повзуни, шийки колінчатих валів двигунів, внутрішня поверхня циліндрів двигуна внутрішнього згорання і інші), тому спряжені поверхні деталей тертя повинні бути більш стійкими до впливу високих температур, тертя, корозії, аніж вся деталь.

В останні роки технологічний прогрес в промисловості пов'язаний з розробкою та втіленням екологічних та ефективних технологій зміцнення поверхонь тертя. Існують різноманітні способи поверхневого зміцнення деталей, підвищення їх корозійної стійкості та зменшення тертя спряжених поверхонь тертя. Одним із способів легування поверхні деталі або її елементів є електроіскрове легування. Даний метод відрізняється економічністю використання матеріалів (анодів), а також забезпечує подовження строку служби деталей механізмів, що досягається фізико-хімічними перетвореннями поверхневого зміцненого шару деталі. Саме електроіскрове легування дає змогу підвищити твердість, жорсткість, корозійну стійкість поверхонь деталей та зменшити коефіцієнт тертя, а також провести ремонт і відновити розміри зношеної деталі, модифікувавши поверхневий шар.

1.1 Загальні відомості про ЕІЛ

Метод електроіскрового легування був розроблений в 50-х роках минулого сторіччя подружжям Лазаренків [1].

Електроіскрове легування (ЕІЛ) ґрунтується на явищі електричної ерозії та перенесенні матеріалу анода на поверхню катода (деталі) при протіканні імпульсних (іскрових) розрядів в газовому середовищі (повітрі, аргоні, азоті та ін.) [2].

Однією з головних переваг даного методу є локальна обробка поверхні, що дає змогу проводити модифікацію поверхні в чітко вказаних місцях з радіусом від долей міліметрів, також серед особливостей слід відмітити: відсутність термічного впливу на весь об'єм деталі під час обробки, високу адгезію покриття з матрицею матеріалу основи, широкий вибір легуючих матеріалів (анодів) та деталей які можна обробляти (катодів), відсутня необхідність попередньої підготовки деталі перед обробкою. Технологічні переваги методу включають в себе малогабаритність обладнання, що дає змогу його транспортувати при необхідності.

За допомогою методу ЕІЛ можна досягти наступних цілей:

- зміцнити приповерхневі шари матеріалу основи;
- змінювати хімічний та фазовий склад поверхні катоду в залежності від потреб;
- відновити геометричні розміри зношених деталей машин та зміцнити поверхню [3, 4, 5].

1.2 Суть методу електроіскрової обробки

Успіх обробки ЕІЛ залежить від раціонального вибору аноду з врахуванням його ерозійної стійкості, фізико-хімічних властивостей та режиму обробки, що суттєво впливає на характеристики майбутнього легованого шару.

Метод електроіскрового легування дозволяє, на обробленій поверхні, підвищити твердість, корозійну стійкість, жаростійкість та зносостійкість деталей машин і механізмів, за рахунок утворення необхідних хімічних сполук та шарів з необхідною шорсткістю [6].

Суть електроіскрового легування полягає у дії імпульсних електричних розрядів на електропровідні матеріали катоду та аноду. Утворений електричний розряд формує на поверхню катоду модифіковані шари, що виникають як результат дії імпульсів та теплових навантажень в області

розряду. Під впливом теплових навантажень на поверхні аноду відбувається ряд некерованих процесів, а саме: термомеханічні, дифузні, мікрOMETалургійні та інші, при дії яких здійснюється перемішування матеріалу аноду і катоду, що сприяє утворенню високої зчеплюваності легованого шару з основою. Характер формування легової поверхні визначається складом, структурою, властивостями матеріалів анодів і технічними параметрами процесу електроіскрового легування [7].

На рис. 1.1 представлена загальна схема електроіскрового легування. Процес відбувається при зближенні аноду та катоду на відстань рівній пробію електроіскрового розряду.

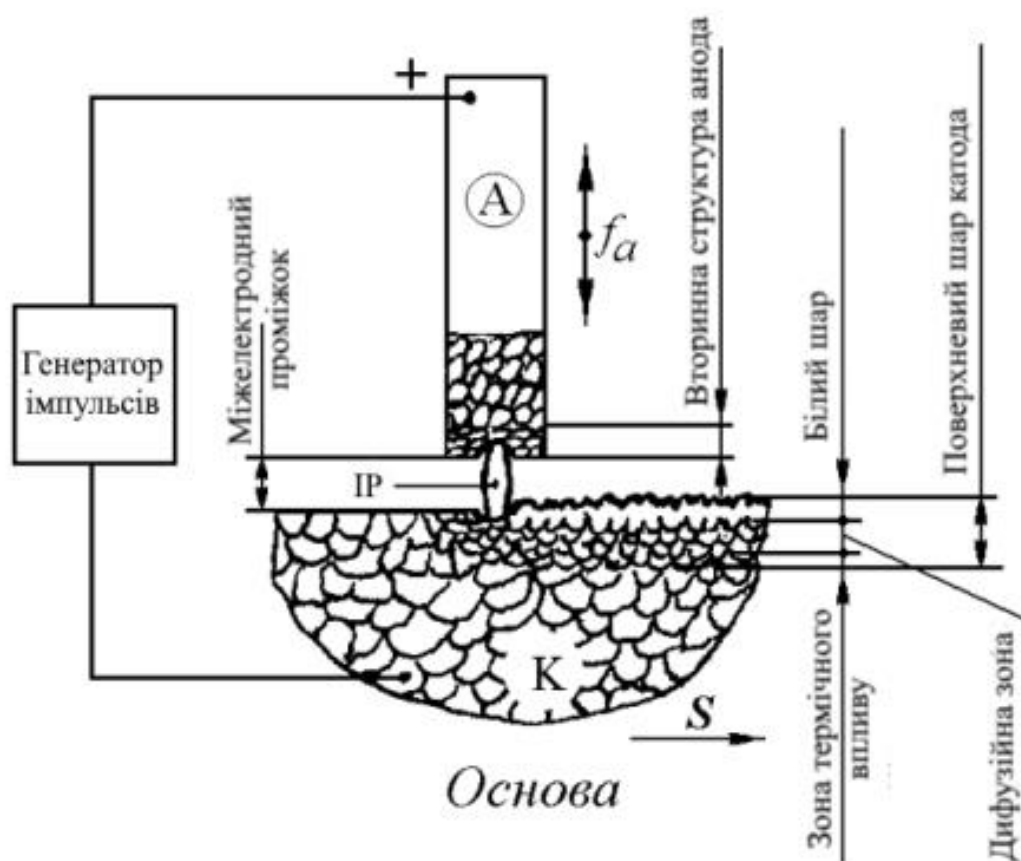


Рисунок 1.1 – Загальна схема процесу ЕІЛ [8]

При зближенні електродів (аноду, на рис. 1.1 А, та катоду, К) напруження електричного поля збільшується і при деякій відстані вже стає достатнім для виникнення іскрового електричного розряду (ІР).

Після виникнення ІР за рахунок енергії яка потрапляє від генератора імпульсів, на поверхні утворюються і розвиваються осередки плавлення та випаровування, що викликають електричну ерозію матеріалів електродів.

Потік електронів потрапляючи на поверхню аноду, на якому виділяється велика кількість енергії, сприяє його ерозії [7]. «Відірвані» частинки потрапляють на розплавлену поверхню катоду та дифундують в глиб матеріалу основи, змінюючи приповерхневу зону.

Таким чином на оброблюваній деталі (катоді) утворюється модифікований шар зі зміненими структурою та властивостями. Варіювання анодів відповідно до їх властивостей та фазового стану компонентів ЕІЛ в залежності від температури дає змогу керувати процесом легування на етапі задання технічних параметрів ЕІЛ (параметри імпульсних розрядів), що в свою чергу дає можливість створювати поверхневі шари з заданими характеристиками [8].

1.3 Модель процесу електроіскрового легування за теорією Лазаренків

Зменшення відстані між анодом та катодом призводить до росту напруженості електричного поля між ними. Поверхневим шарам, пучком сфокусованого потоку електронів, передається енергія. Надана енергія витрачається на локальний нагрів матеріалу анода, на часткове випаровування та плавлення. Розплавлений метал «відривається» від аноду та падає на катод. Крапля розплаву перебуваючи в полі високої електричної напруженості продовжує нагріватися, досягнувши певної, критичної, температури крапля вибухає. На цьому дія електричного поля закінчується, на катод потрапляють частинки аноду. Досягнувши поверхні катоду частинки аноду зварюються з ним та частково дифундують в його поверхню. Після цього відбувається удар анода об поверхню катода, що містить частинки розплаву, завдяки удару відбувається перемішування та

гомогенізація легованого шару. Через малі об'єми є причини вважати, що відбувається гартування.

Описана вище модель відповідає моделі електроіскрового легування при високих напругах. Для менших напруг (100 В – 200 В) пробій відбувається майже при контакті анода з поверхнею катода. При ЕІЛ завжди можливе зворотнє масоперенесення, в такому випадку з поверхні катода виринається частина матеріалу та переноситься на анод, на поверхні зразка (катода) утворюється кратер.

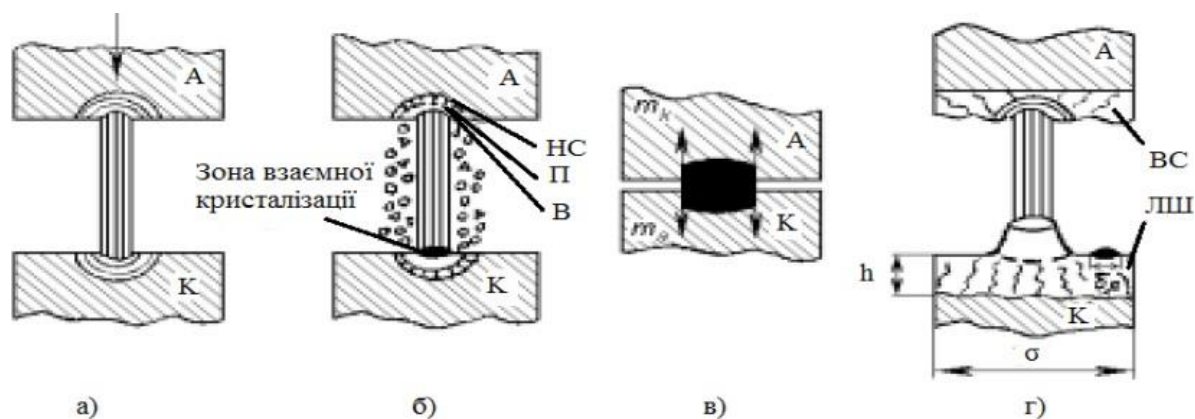
Запропонована Лазаренками модель процесу ЕІЛ була першою і вона має ряд неточностей та потребує доповнень [9, 10].

1.4 Модель процесу ЕІЛ за А.Д. Верхотуровим

Одним з важливих спрощень, що допускала модель Лазаренків було те, що не враховувались поверхневі явища та процеси, що відбуваються на електродах (анод та катод). Узагальнена модель процесу ЕІЛ А.Д. Верхотурова [11] враховувала зварювання електродів під час контакту, руйнування електродів в паровій, рідкій та твердій фазах, обмеження товщини шару, перекристалізацію матеріалів на катоді, в зоні дії іскри, перервний (дискретний) характер утворення легованого шару.

Струм, що призводить до нагрівання аноду та магнітне поле, що сприяє утворенню високого тиску в тунелі розряду і викликають утворення на електродах ерозійних лунок, які є наслідком появи об'ємних ділянок теплових джерел. Ерозійна лунка, за Верхотуровим, поділяється на три зони: випаровування, плавлення та напруженого стану.

Схематичне зображення узагальненої моделі ЕІЛ представлено на рис. 1.2.



а – пробій міжелектродного проміжку; б – утворення ерозійних лунок на електродах (на аноді А та катоді К); в – момент контакту електродів; г – утворення легованого шару (ЛШ) на катоді

Рисунок 1.2 – Схема узагальненої моделі ЕІЛ [12]

Розмір перших двох зон має сформульовану залежність від температур плавлення ($T_{пл}$) та кипіння ($T_{кип}$) й від коефіцієнта теплопровідності (λ). Тож чим більша $T_{пл}$, $T_{кип}$ та λ тим менша зона плавлення та кипіння. Полярне перенесення матеріалу анода на катод дозволяє формувати на поверхні катоду модифіковані шари, що являються результатом взаємодії не тільки електродів між собою, а й середовища з електродами.

І хоча модель Верхотурова не описує зв'язку між мікротвердістю отриманого шару та мікротвердістю аноду, а також не пов'язує цих характеристик з жаростійкістю, але вона відкрила можливість керування характеристиками покриття через підбір фізико-механічних характеристик анодів.

1.5 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ

Для покращення властивостей робочих поверхонь матеріалів, тобто підвищення міцності, зносостійкості та корозійної стійкості використовують методи нанесення зміцнюючих або захисних покриттів [13]. Спосіб

електроіскрового легування дозволяє отримувати покриття на металевих виробах різними струмопровідними матеріалами.

В результаті електроіскрового легування оброблювана деталь зазнає змін розміру, рельєфу, фізичних, хімічних та механічних характеристик її поверхневого шару. У модифікованих шарах спостерігається утворення інтерметалідів, нітридів, карбідів, оксидів та дрібно-кристалічної структури та ін., завдяки чому підвищується поверхнева твердість

Інтенсивність формування поверхневого шару та його товщина при ЕІЛ є важливою характеристикою процесу. Як зазначають автори роботи [14]: «Структура та властивості покриття є відображенням умов, в яких відбувалося його формування». Таким чином, розглядаючи метод електроіскрового легування, слід зазначити, що товщина нанесеного шару та його шорсткість має прямо пропорційну залежність від енергії розряду. Іншими словами, чим менша енергія тим менший шар покриття з меншою шорсткістю утвориться на поверхні основи. Тому для отримання якісних та товстих покриттів застосовують декілька, а не один, ретельно підібраних анодів та середовище легування [15]. У роботі [16] описується комплексний вплив насичуючого середовища та матеріалу анода на утворення модифікованого шару, на його структуру, фазовий склад, мікротвердість та зносостійкість.

Також у статті [17] зазначають суттєвий вплив хіміко-термічної обробки (ХТО) на поверхневу твердість матеріалів.

Невелика кількість досліджень на тему впливу середовища легування не дає чіткої картини впливу, однак раніше проведене дослідження направлене на порівняння характеристик легованих шарів утворених в двох різних середовищах дають підставу говорити про суттєвий вплив атмосфери аргону на товщину утворюваного шару, на його мікротвердість та зносостійкість.

1.6 Електродні матеріали для ЕІЛ

Сталь марки 40X13 широко застосовують у всьому світі для виготовлення кухарських ножів. Вироби з цієї сталі чудово підходять для використання в побуті, адже вони корозійностійкі, легко наточуються та непримхливі у догляді.

Окрім того, сталь 40X13 використовують для виробництва медичних скальпелів та інших інструментів. З неї також виготовляють пружини, підшипники, компресорні елементи і т.д.

Єдиним мінусом виробів з зазначеної сталі є їх корозійна стійкість до агресивних середовищ та високим температурним режимам. Саме через те, що сталь 40X13 не піддають зварюванню.

Електродні пари підбирались таким чином, щоб у процесі ЕІЛ матеріали анодів, що належать до перехідних металів, могли утворювати з матеріалом основи різні типи твердих розчинів, карбіди, нітриди та інтерметаліди.

Першим анодом для електроіскрового легування з постадійним нанесенням було обрано вольфрам. Вольфрам є одним з найбільш тугоплавких металів, що робить його застосування незамінним в областях, пов'язаних з температурою. Вольфрам – основа твердих та багатьох жаростійких сплавів, входить у склад зносостійких та інструментальних сталей.

Широкий спектр застосування мають різноманітні з'єднання даного металу. Так, наприклад, тверді сплави та композитні матеріали на основі карбіду вольфраму (WC) використовують для механічної обробки металів і неметалічних конструкційних матеріалів у машинобудуванні, наприклад при заточуванні, струганні, видовбуванні, фрезеруванні, а також при бурінні свердловин у гірничій промисловості [18].

В системі W - C існують дві фази – W_2C і WC. Кожна має декілька структурних модифікацій, які залишаються стійкими при певній температурі та концентрації. Діаграма стану наведена на рис.1.3 [19].

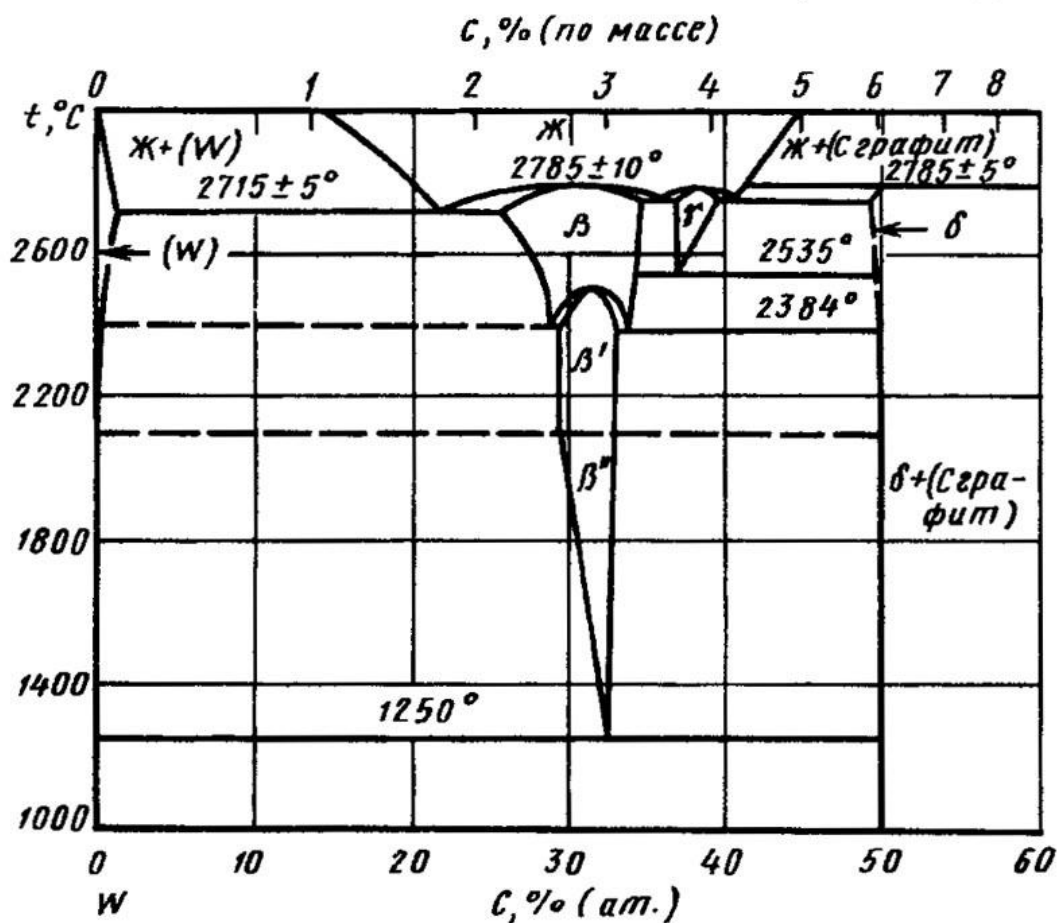


Рисунок 1.3 – Діаграма стану W-C [19]

В системі встановлено утворення трьох фаз $W_2C(\beta)$, γ -WC та WC(δ). Розчинність графіту в вольфрамі складає 0,7 ат.%. Як видно з діаграми (рис. 1.3) за температури 1250°C фаза β - W_2C розпадається на W та WC. Низькотемпературна модифікація $W_2C(\beta'')$ має гексагональну структуру з параметрами решітки $a = 0,2994 + 0,2912 \text{ нм}$, $c = 0,472 + 0,4823 \text{ нм}$ [20]. Високо температурні модифікації, що утворюються за температур вище 2000°C , не доступні для метода ЕІЛ, тому описувати їх не доцільно.

Зважаючи на властивості вольфраму та його карбідів доцільним буде його використання при ЕІЛ, для підвищення зносостійкості, твердості та жаростійкості. Ряд досліджень [21, 22] підтверджують дане твердження.

Оскільки нанесення матеріалу вольфрамового аноду відбувається безпосередньо на сталь 40Х13, що містить приблизно 84 % Fe то доцільним буде навести та описати діаграму стану вольфрам-залізо рис. 1.4 [23].

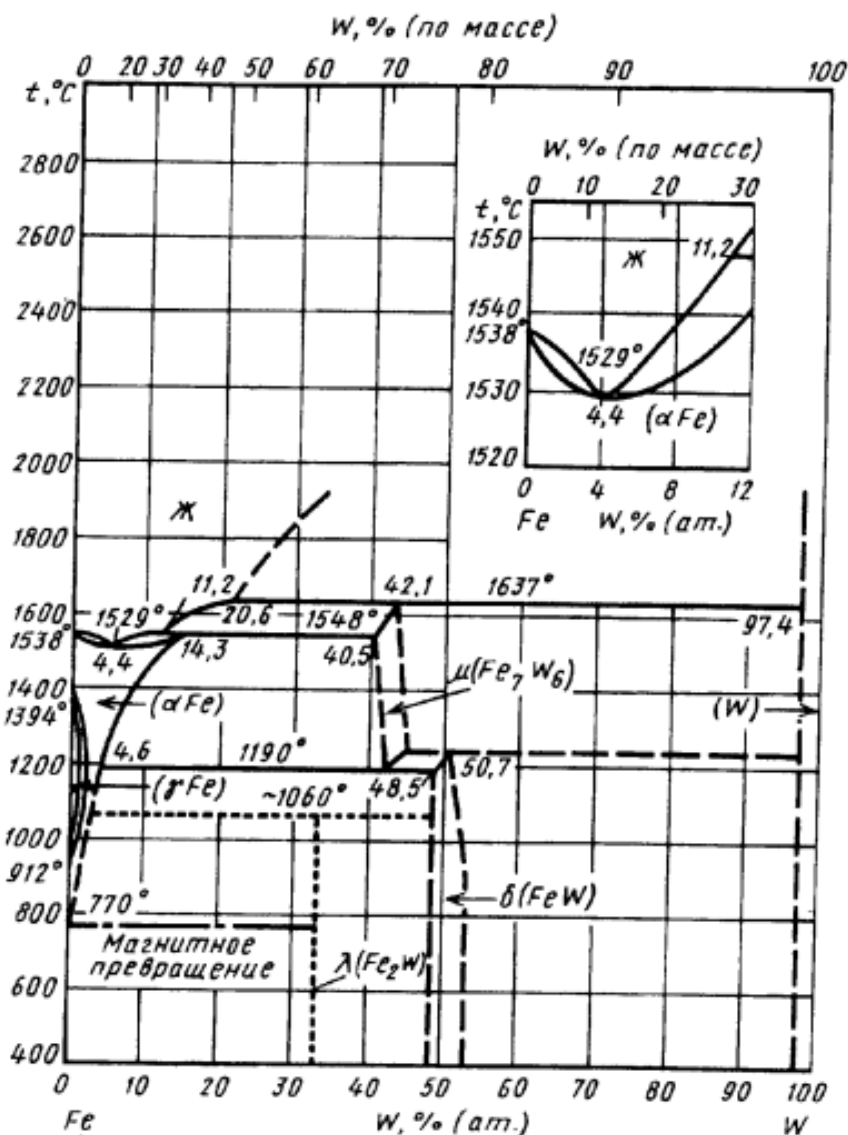


Рисунок 1.4 – Діаграма стану Fe - W [23]

У системі формується три проміжні фази $\lambda(\text{Fe}_2\text{W})$, $\mu(\text{Fe}_7\text{W}_6)$, $\sigma(\text{FeW})$ та тверді розчини (W), (αFe), (γFe).

Розчинність W в (αFe) зі зниженням температури зменшується від 14,3 ат.% при 1548 °C до 4,6 ат.% при 1190 °C. При температурах нижче 1000 °C розчинність W в (αFe) встановлена менш точно, бо для встановлення рівноваги необхідно багато часу [24]. W стабілізує (αFe), підвищуючи температуру перетворення (αFe) \leftrightarrow (γFe) и знижуючи температуру

перетворення (γFe) \leftrightarrow (σFe) і призводить до появи замкнутої області (γFe). Максимальна розчинність W в (γFe) становить 1,46 ат. %.

Сполука Fe_2W (фаза λ) утворюється по перитектоїдній реакції при температурі 1060 °C з (αFe) та фази μ .

Другим анодом обрано хром – тугоплавкий, твердий метал (9 за шкалою Мооса) з надзвичайною корозійною стійкістю, що й зумовило популярність цього металу в промисловості [25]. Тому доцільно привести діаграму стану, що відображає взаємодію анодів хрому та вольфраму рис. 1.5 [26].

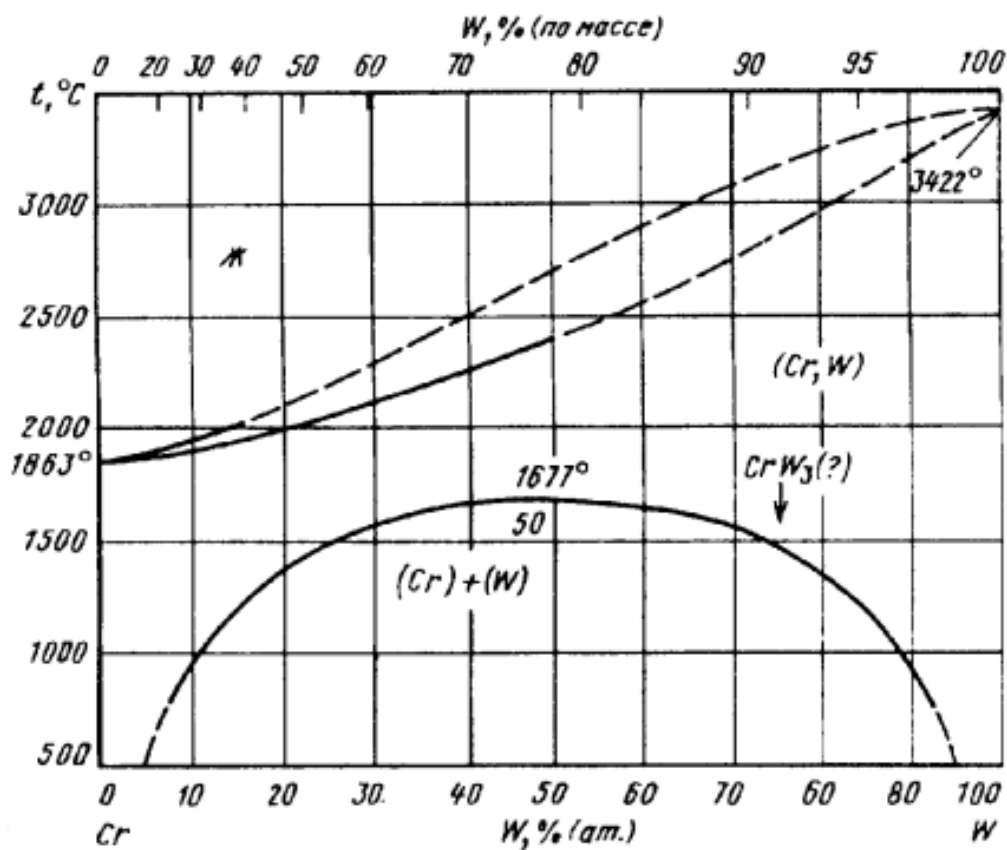


Рисунок 1.5 – Діаграма стану системи Cr - W [26]

Cr утворює з W при кристалізації неперервний ряд твердих розчинів (Cr, W), який за температури нижче 1677 °C і вмісті W 50 ат. % розпадається на два твердих розчини (Cr) та (W).

Двофазна область (Cr) + (W) за температури 500 °С простягається від 5 ат. % до 95 ат. % W, поступово зменшуючись до 1677 °С з концентрацією W від 30 ат. % до 70 ат. %.

Карбіди даного елементу сприяють підвищенню зносостійкості.

Оскільки під час обробки методом ЕІЛ можливо утворення карбідів слід навести діаграму стану хром-графіт рис. 1.6 [27].

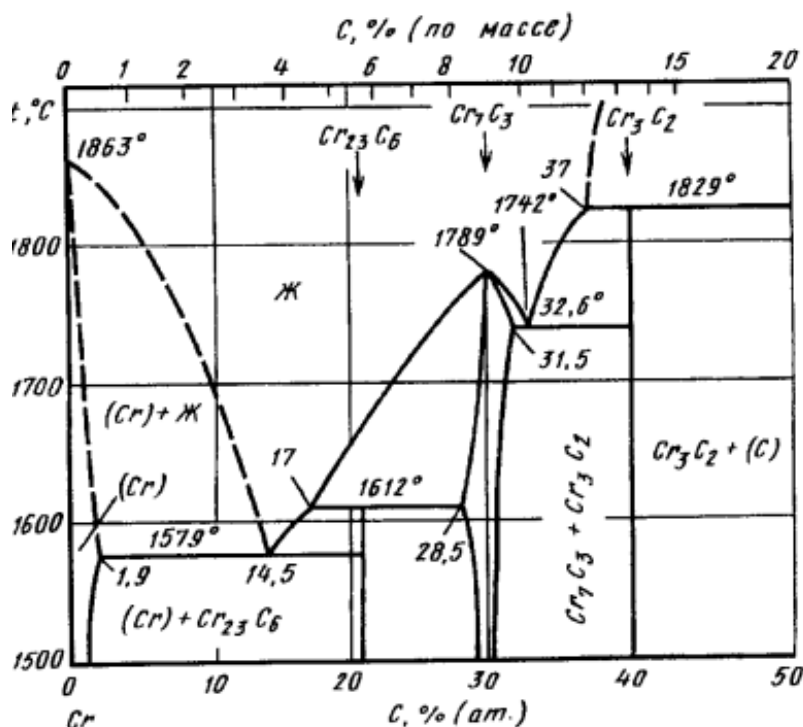


Рисунок 1.6 – Діаграма стану системи Cr - C [27]

Сполука Cr₇C₃ кристалізується конгруентно за температури 1789 °С та вмісті графіту 30 ат. %. Область гомогенності Cr₇C₃ від 28,5 ат. % – 31,5 ат. % графіту (C). Максимальна розчинність C в Cr дорівнює 1,9 ат. % або 0,45 мас. %.

При надшвидкому охолодженні в системі виявлено метастабільний карбід Cr₃C [28].

Його, хром, часто використовують у електроіскровій обробці, як анод, для підвищення зносостійкості, надання стійкості кромці ріжучого інструменту та підвищення корозійної стійкості на оброблюваній поверхні. В якості катоду використовують сталі з підвищеним вмістом хрому –

нержавіючі сталі. Необмежена розчинність хрому в залізі створює можливість для формування протяжних легованих шарів на поверхні матеріалу основи сталі [29].

Оскільки матеріалом основи виступає сталь з високим вмістом заліза необхідно навести діаграму стану для відображення процесів, що відбуваються при ЕІЛ. Діаграма стану наведена на рис. 1.7 [30].

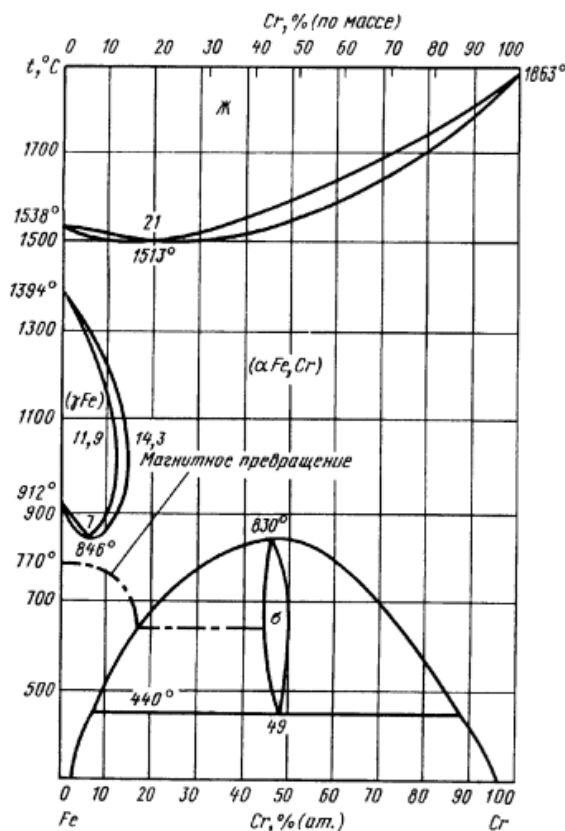


Рисунок 1.7 – Діаграма стану системи Fe - Cr [30]

Cr і Fe утворюють неперервні ряди твердих розчинів в рідкому та в твердому станах. На лініях ліквідуса та солідуса наявний мінімум за температури 1513 $^\circ\text{C}$ та вмісті Cr приблизно 21 ат.%. В твердому стані в системі існують наступні фази: проміжна фаза σ (FeCr), неперервна область твердих розчинів αFe і Cr ($\alpha\text{-Fe}$, Cr) та обмежена область твердого розчину на основі γFe . Максимальна розчинність Cr в γFe складає 11,9 ат.%. Межа двофазної області між γFe і ($\alpha\text{-Fe}$, Cr) має мінімум при вмісті Cr 7 ат.% та температурі 830 $^\circ\text{C}$.

Фаза σ утворюється з (α -Fe,Cr) при вмісті Cr 48 ат.% – 49 ат.% та температурі нижче 815 °C – 830 °C розпадається при температурі 440 °C – 520 °C по евктикоїдній реакції на твердих розчинах.

Графіт завдяки своїм властивостям широко використовується в машинобудуванні. Його корозійна стійкість та антифрикційні характеристики роблять його бажаним об'єктом для широкого використання та втілення в дослідження.

Також як зазначають дослідники ЕІЛ обробка графітовим анодом значно зменшує шорсткість поверхні, що несе позитивний вплив на зносостійкість покриття [31].

При багатошаровому нанесенні покриття методом ЕІЛ на матеріал основи відбувається перемішування компонентів аноду не тільки з поверхневим шаром матриці, а й з вже нанесеним модифікованим шаром. Таким чином відбувається повторна модифікація складу та властивостей утвореного покриття.

Зважаючи на це слід зазначити, що очікуваний результат може не співпадати, як за властивостями так і за складом, з реальними даними [12]. Тому ретельне вивчення діаграм стану допомагає наблизити очікування до реальних результатів.

Утворення неперервного ряду твердих розчинів у системі W-Cr дозволяє очікувати значного росту мікротвердості.

1.7 Висновки до розділу 1

На основі аналізу літературних даних можна зробити висновок про ефективність використання методу ЕІЛ. Що говорить у підтримку актуальності обраного методу обробки поверхні.

Проведений літературний аналіз свідчить про недостатню кількість джерел, що присвячені впливу на структуру, властивості та хімічний склад сталі 40X13 після послідовного нанесення шару вольфраму, хрому та

вуглецю методом електроіскрового легування (ЕІЛ). Саме тому тема даного дослідження є актуальною.

Основна ідея проведення дослідження полягає в наступному: легування сталі 40Х13 вольфрамом та графітом може приводити до утворення дисперсних карбідів вольфраму, які будуть призводити до збільшення твердості та зносостійкості, що підтверджує ряд досліджень [19, 31, 32].

Легування хромом дозволяє отримати твердий розчин в залізі, завдяки необмеженій розчинності хрому в залізі. Також хром при взаємодії з вуглецем може утворити дисперсні карбіди, що мають інші параметри, ніж карбіди вольфраму (розмір частинок, крихкість частинок твердість частинок).

Твердий розчин хрому в залізі, може виконувати роль відносно м'якої і пластичної матриці в якій будуть формуватися дисперсні частинки карбідів хрому та вольфраму, що відповідає принципу Шарпі [33].

Легування графітом окрім сприяння утворенню карбідів може приводити до утворення виділень аморфного (вільного) вуглецю, який може виконувати роль твердого мастила.

Така обробка дозволить створити на поверхні сталі методом ЕІЛ легований шар властивості якого відповідають характеристикам ріжучих кромок лез [34].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

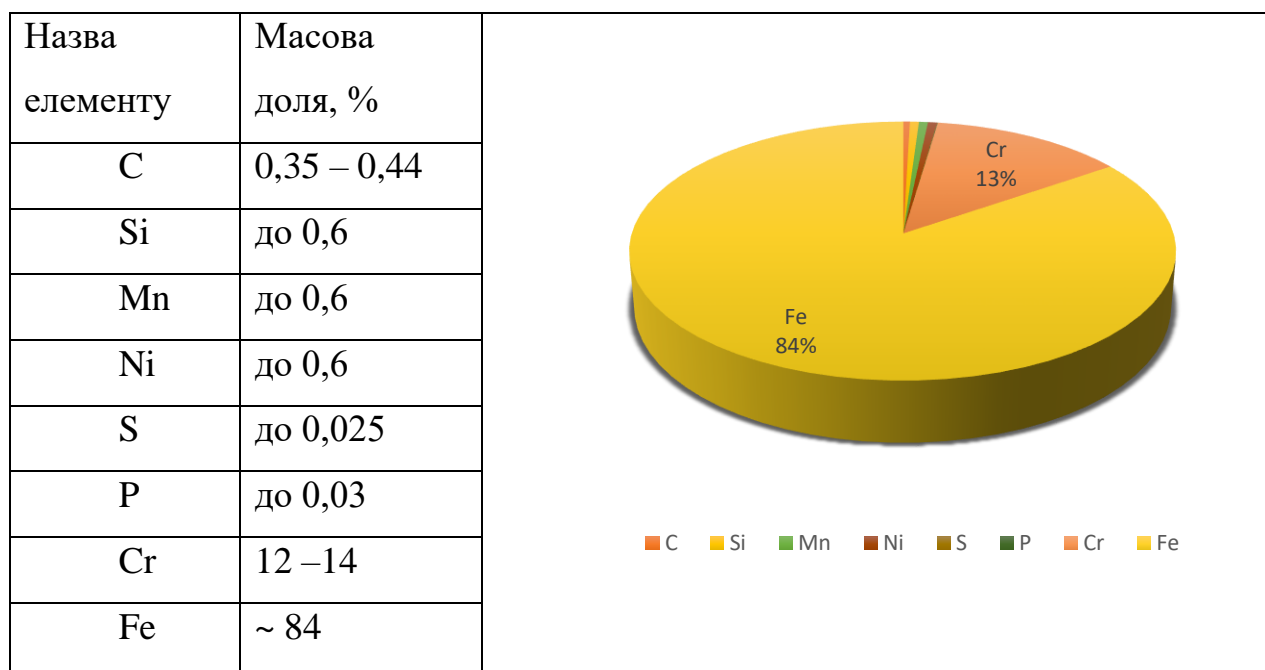
2.1 Матеріали для дослідження

Найбільш розповсюдженим різновидом легованих сталей, для лез, на сьогодні є нержавіючі сталі. Корозійна стійкість яких визначається не тільки вмістом хрому, а й якістю поверхні.

В якості катоду було обрано сталь 40X13, яка завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, що наведені в табл.2.1, може бути використана як:

- корозійностійкий матеріал з високою твердістю:
 - ріжучий, вимірний та хірургічний інструменти;
 - пружини, підшипники та інших деталей, що працюють на зношування в слабо агресивних середовищах;
 - побутові прилад та предмети домашнього побуту.;
- жароміцний та жаростійкий матеріал при роботі до 400 °С - 450 °С для кріпильних виробів, вали, пружні елементи, що «відчувають» вплив слабо агресивних середовищ, наприклад, при переробці нафти [35].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40X13 [36]



Дане дослідження спрямоване на утворення міцного, зносостійкого покриття з сильною адгезією, до матриці основи, з можливістю застосування на ріжучих кромках лез. Наприклад для промислових виробництв де необхідно різати папір.

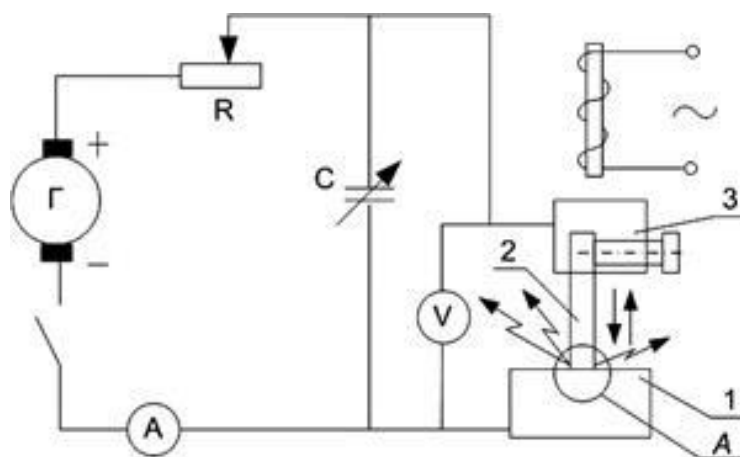
Для досягнення поставленої мети було досліджено 3 зразка з послідовним нанесенням вольфраму, хрому та графіту методом електроіскрового легування на матеріал основи сталь 40Х13.

Другим матеріалом, що використовувався в якості аноду при послідовному нанесенні було обрано – хром – тугоплавкий метал, що має високу корозійну стійкість.

В даній роботі третім анодом, для послідовного нанесення, було використано графіт, з метою покращення зносостійкості при можливому використанні деталі з оброблюваною поверхнею в вузлах тертя.

2.2 Електроіскрове легування

Для отримання модифікованих покриттів методом на матеріалі основи ЕІЛ була використана установка «ЭЛИТРОН-26А». Схема даної установки наведена на рис. 2.1.



1 – деталь (катод); 2 – електрод (анод); 3 – анодний тримач

Рисунок 2.1 – Принципова схема електроіскрової установки [37]

В основі принципу дії установки лежить генерування електроіскрових розрядів між двома електродами, катодом – оброблюваною деталлю, та анодом – матеріал, яким оброблюється катод.

В даній роботі процес ЕІЛ проводився лише на повітрі.

Обробка була проведена в одному режимі, при силі струму $I = 2 \text{ A}$ та напрузі $U = 60 \text{ В} - 70 \text{ В}$. Кожна з поверхонь оброблювалась 3 хвилини, кожним анодом.

2.3 Використані методи для дослідження оброблених зразків

Для отримання експериментальних даних в ході дослідження було використано комплекс методів, який дозволив в повній мірі проаналізувати результати дослідження та зробити висновки щодо можливої сфери використання зазначених схем обробки.

Робота була побудована на використанні такого комплексу методів:

- гравіметричний аналіз;
- мікроструктурний аналіз;
- мікродюрометричний аналіз;
- рентгенофазовий аналіз;
- дослідження на зносостійкість.

2.3.1 Гравіметричний аналіз

Гравіметричний метод аналізування полягає в вимірюванні маси електродів перед початком електроіскрової обробки та під час обробки, на кожній стадії процесу, з визначеним кроком. В даній роботі зважування проводилось кожну хвилину. Для спостереження змін маси, приріст катоду або аноду, використовувались лабораторні електронні ваги AXIS AD50, з заявленою точністю $\pm 0,0005 \text{ г}$.

Для попередньої оцінки процесу обробки та формування модифікованого покриття визначається за ерозією аноду Δm^a та приростом маси катоду Δm^k , що виявляється в зміні маси обох.

Зміна маси електродів визначається як:

$$\Delta m^3 = m(t_n) - m(t_0), \quad (2.1)$$

де Δm^3 – зміна маси електроду (аноду або катоду);

t_0 – час початку обробки;

t_n – час n-го вимірювання маси зразка.

Приріст ваги катоду розраховується за формулою:

$$\Delta m_k^n(t) = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}) \quad (2.2)$$

де Δm_k^n – приріст маси катоду

t_n – час n-го вимірювання маси зразка;

t_{n-1} – час попереднього вимірювання.

Для виміру ерозії аноду (Δm_a^e) використовується аналогічна формула, як і (2.2), тільки обиралися дані, що стосуються аноду.

Таким чином коефіцієнт масоперенесення записується за формулою:

$$K = \frac{\Delta m_k^n}{\Delta m_a^e}, \quad (2.3)$$

де K – коефіцієнт масоперенесення (%).

2.3.2 Мікроструктурний аналіз

Для дослідження мікроструктури з використанням оптичної мікроскопії виготовлялися металографічних поперечних шліфів. Підготовка поперечних шліфів потребує фіксації обробленого зразка, для цього була використана струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до утвореного шару. Шліфування відбувалося із застосуванням абразивного паперу різної шорсткості, з поступовим зменшенням абразивних часток. Створення

дзеркальної поверхні досягалося використанням полірувальної пасти ДОО (оксид хрому III) з подальшим переходом на шліфування водою.

Отримана поверхня шліфу протравлювалась, з використанням використовувався 20% розчин азотної кислоти, в етиловому спирті.

Фотографування шліфів мікроструктури, для наступного металографічного аналізу, здійснювалось на оптичному мікроскопі МЕТАМ РВ -21 (рис. 2.2), при збільшенні від 100 разів до 400х разів.



Рисунок 2.2 – Металографічний мікроскоп МЕТАМ з верхнім розташуванням предметного столику [38]

Фото поверхні зроблено за допомогою фото-насадки та програми, яка передає зображення на комп'ютер.

2.3.3 МікродюрOMETричний аналіз

Мікротвердість модифікованої поверхні вимірювалась на протравлених зразках з використанням приладу ПМТ-3М (рис. 2.3). Зазначений прилад заснований на методі визначення мікротвердості за Віккерсом [39].



Рисунок 2.3 – Мікротвердомір ПМТ-3М [39]

Визначення мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 20 г та 50 г протягом 7 секунд – 10 секунд. За величиною діагоналі визначали мікротвердість в ГПа за формулою:

$$H_\mu = \frac{18,2 \times P}{(0,31 \times z)^2} [\text{ГПа}] = \frac{1,854 \times P}{d^2} \left[\frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{мм}^2} \right] \quad (2.4)$$

$$H_\mu = \frac{1,854 \times P}{d_{\text{ср}}^2} \quad (2.5)$$

де H_μ – значення мікротвердості;

P – навантаження на індентор;

$d_{\text{ср}}$ – середнє значення діагоналей d_1 і d_2 , яке розраховується за формулою:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{i1} + d_{i2}}{2 \times n} \quad (2.6)$$

де d_{i1} , d_{i2} — відповідно довжини діагоналей чотирикутного відбитка, мкм.

2.3.4 Рентгенофазовий аналіз

Для отримання даних рентгенофазового аналізу використовувався дифрактометр Ultima IV (Rigaku).

Завдання, які вирішуються дифрактометром Rigaku Ultima IV:

- фазовий аналіз різних матеріалів;
- кількісний аналіз;
- кристалічні структури;
- розмір кристалітів;
- переважні орієнтації;
- досконалість кристалічної структури;
- ступінь кристалізації;
- залишкові напруги;
- функція радіального розподілу;
- орієнтація та структура тонких плівок;
- розподіл розмірів наночастинок і пор;
- багат шарові структури (товщина, щільність, шорсткість);
- одночасний рентгеноструктурний та калориметричний аналіз.

Ultima IV – єдиний на ринку дифрактометр з повністю автоматичним юстуванням всієї системи. Зйомки проводились на мідному монохроматизованому випроміненні при напрузі 30 кВ та струмі 30 мА.

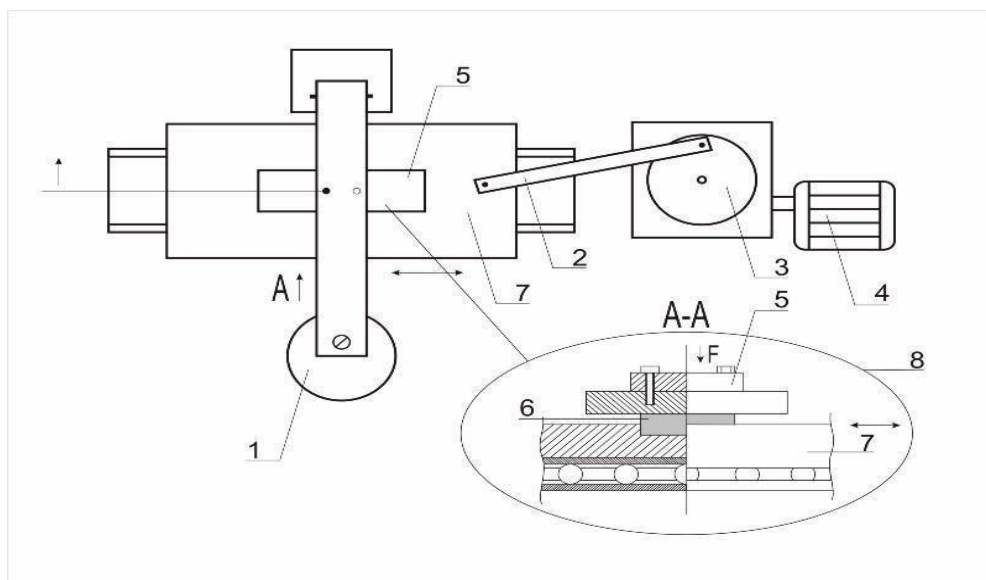
Можливість здійснення сканування в двох взаємно перпендикулярних площинах без необхідності перебудови системи являється революційним проривом у дифрактометрії тонких плівок. Використання in-plane геометрії дозволяє проводити аналіз плівок товщиною до 1 нм. В такій геометрії можна визначати параметри решітки в площині зразка, а також визначати орієнтаційні відношення в системі плівка/підложка, що недоступно при використанні стандартної геометрії.

Вбудовані бази даних дозволяють автоматично аналізувати дифрактограми отримані в електронному вигляді.

2.3.5 Дослідження на зносостійкість

Випробування на зносостійкість проводилися на оригінальній машині тертя для визначення зносостійкості легованих шарів за принципом зворотно-поступального руху в умовах контактного зношування при сухому терті-ковзанні за схемою «площина по площині».

Загальна схема машини тертя наведена на рис. 2.4. Як матеріал контртіла була використана загартована інструментальна сталь Р6М5.



1 – навантаження (гиря); 2 – шатун; 3 – колінчата передача; 4 – електродвигун; 5 – контртіло; 6 – зразок; 7 – станина; 8 – загальна схема тертя

Рисунок 2.4 – Загальна схема машини тертя [40]

Принцип дії установки є таким: обертання від електродвигуна постійного струму передається на шатун. Рухома платформа здійснює зворотно-поступальний рух по напрямним за допомогою шатуна, прикріпленого до обертальної частини редуктора. На рухомій платформі розміщено досліджуваний зразок, який контактує з контртілом, закріпленим на важелі, під час дії навантаження (гиря) 4 кг.

Величину зносостійкості оцінювали ваговим методом, зважуючи зразок до і після випробування через кожні 10 хвилин. Загальний час зношування для кожного зразка складав 400 хвилин. Зносостійкість оцінювали по втраті маси, яку вимірюють на аналітичних терезах з точністю до 0,0005 г. За втратою маси знаходять інтенсивність зношування, г/см² за формулою:

$$I = \frac{\sum \Delta m}{s}, \quad (2.7)$$

де Δm – втрата маси, кг;

s – площа поверхні тертя зразка, см².

Після розрахунків за формулою 2.7 було одержано криві зношування в залежності від часу для кожного з зразків.

2.5 Висновки до розділу 2

Для досягнення поставленої задачі переддипломної практики проведений процес ЕІЛ сплаву сталь 40Х13 анодами W, Cr, С без захисного середовища на повітрі за схемами W - Cr - С, W - С - Cr, Cr - W - С.

Обґрунтовано вибір вихідних матеріалів (легувальних електродів) для дослідження.

Визначена та описана використана методика дослідження, яка дозволяє отримати дані для аналізу результатів ЕІЛ.

3 ЕКСМПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Досліджено вплив матеріалів анодів (W, Cr, C) при різній послідовності ЕІЛ на фазовий склад, структуру, мікротвердість та зносостійкість поверхневих шарів сталі 40X13.

Легування зразків сталі 40X13 проводилось у три стадії на повітрі при напрузі 60 В, та струмі 1,5 А. Легування кожним анодом здійснювалося впродовж 3 хвилин. Легування проводилось за схемами W - C - Cr, W - Cr - C, Cr - W - C, Cr - C - W, C - Cr - W.

3.1 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою W - C - Cr

Результати мікроструктурного аналізу сталі 40X13 після тристадійного електроіскрового легування на повітрі анодами: вольфрамом, графітом та хромом показали, що легований шар після ЕІЛ зразка за зазначеною схемою має товщину від 10 мкм до 15 мкм (рис. 3.1).

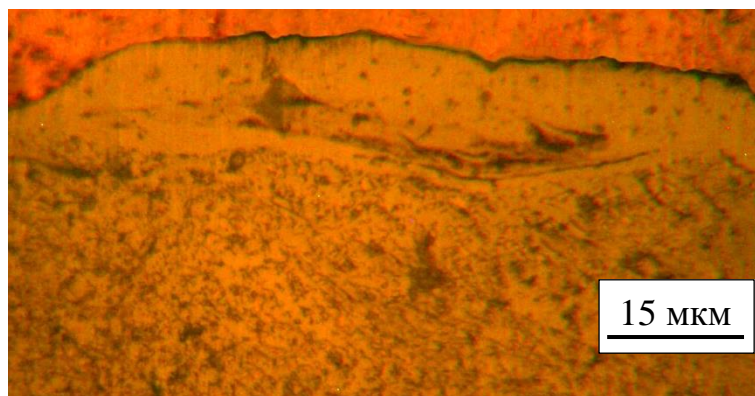


Рисунок 3.1 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X13 після легування за схемою W - C - Cr

В процесі нанесення покриття, визначалась кінетика масоперенесення матеріалу, яка фіксувалася за змінами маси катоду та аноду після кожної хвилини легування. На рис. 3.2 наведено графічне представлення залежності ерозії аноду та зміни маси катоду від тривалості обробки.

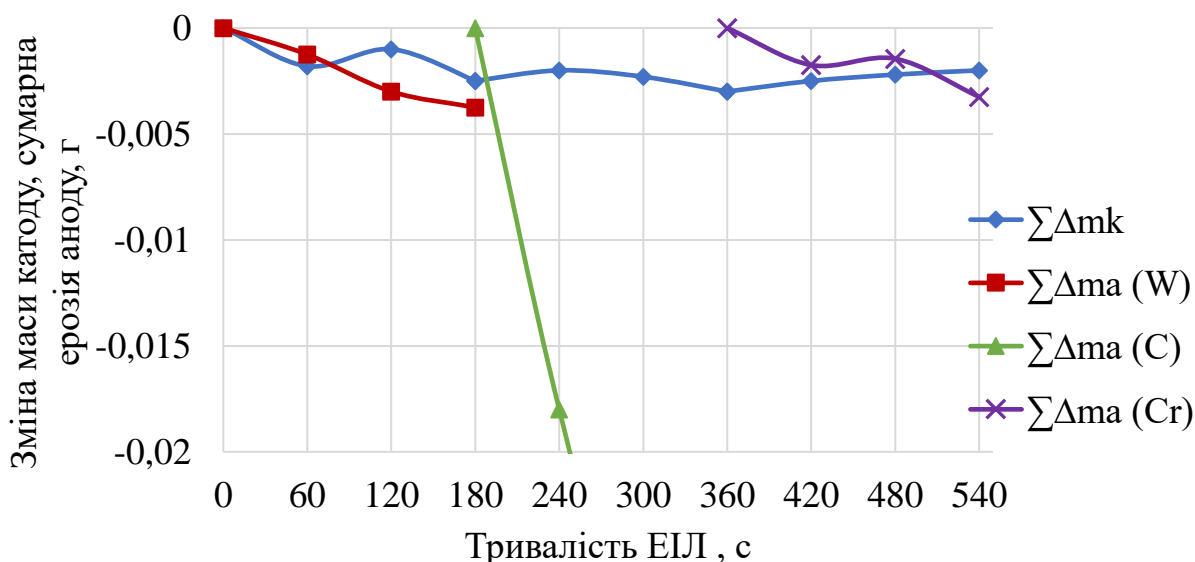


Рисунок 3.2 – Кінетика масоперенесення в процесі ЕІЛ в послідовності
W - C - Cr

Як видно з графіку під час усього процесу електроіскрового легування значного приросту маси катоду не спостерігалось. Спостерігалось незначне збільшення маси катоду при легуванні вольфрамом (від 0 до 180 секунди) і хромом (від 360 секунди до 540 секунди).

За результатами фазового рентгенівського аналізу зразка з легованим шаром в послідовності W - C - Cr на матеріалі основи 40X13 була отримана дифрактограма (рис. 3.3). Після обробки сталі 40X13 ЕІЛ за схемою W - C - Cr фіксуються наступні фази: карбід хрому Cr_7C_3 , γ - та α -залізо (табл. 3.1.). Відсутність рефлексів від W може бути зумовлене його високою ерозійною стійкістю, що зумовлює вміст його в легованому шарі менше чутливості методу фазового аналізу.

Таблиця 3.1 – Фазовий склад шару після ЕІЛ за схемою W - C - Cr

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань d, Å	Фаза (hkl)
1	2	3	4
1	43,00	2,0982(17)	γ -Fe (111) Cr_7C_3 (151)

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
2	44,00	2,0273(12)	α -(Fe-Cr)(110), Cr_7C_3 (241)
3	50,40	1,8080(13)	γ -Fe (200), Cr_7C_3 (251)
4	64,90	1,4345(11)	α -(Fe-Cr)(200), Cr_7C_3 (361)
5	73,90	1,2820(2)	γ -Fe (220), Cr_7C_3 (511)
6	82,20	1,1714(12)	α -(Fe-Cr)(211), Cr_7C_3 (471)
7	89,69	1,0923(13)	γ -Fe (311), Cr_7C_3 (620)
8	95,15	1,04354	γ -Fe (222), Cr_7C_3 (571)
9	98,86	1,01401	α -(Fe-Cr)(220) Cr_7C_3 (620)
10	116,00	0,9083(13)	α -(Fe-Cr)(310), γ -Fe (400), Cr_7C_3 (680)

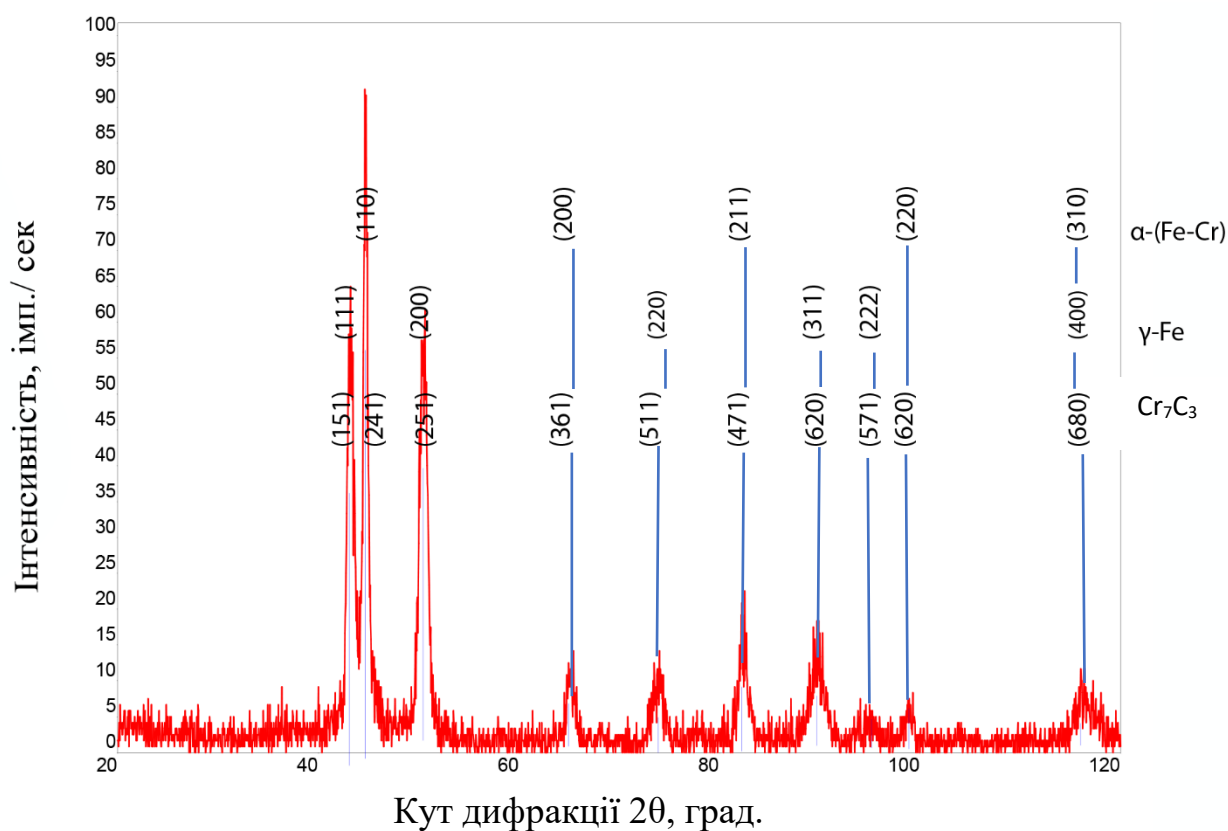


Рисунок 3.3 – Дифрактограма легovanого шару на сталі 40X13 після
 ЕІЛ за схемою W - C - Cr

За результатами рентгеноструктурного аналізу були визначені мікровикривлення та розміри ОКР. Дані занесені до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри субструктури після ЕІЛ за схемою W - C - Cr

Фаза	Параметр решітки, а(Å)			Розміри блоків ОКР(Å)	Мікровикривлення $\Delta d/d$ (%)
α -(Fe-Cr)	2,869			172	0,27
γ -Fe	3,634			192	0,708
Cr ₇ C ₃	a(Å)	b(Å)	c(Å)	23,22	1,39
	6,76	12,39	4,59		

Мікродюретричний аналіз зразків легованих в послідовності W-C-Cr дав змогу встановити значне підвищення значення мікротвердості легованого шару до 11,6 ГПа (рис. 3.4).

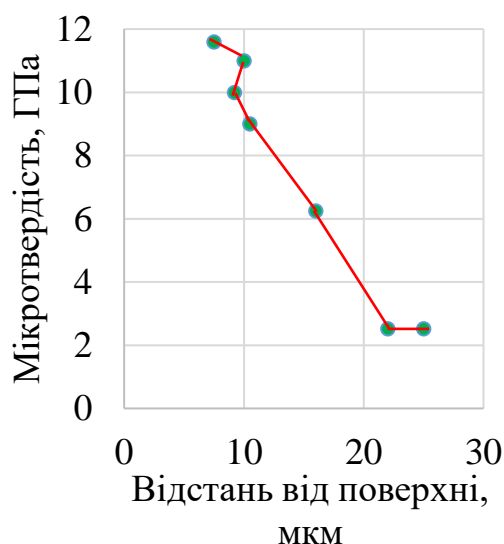


Рисунок 3.4 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі 40X13 після ЕІЛ за схемою W - C - Cr

3.2 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою W - Cr - C

Мікроструктурний аналіз сталі 40X13 після електроіскрового легування на повітрі при послідовному нанесенні вольфраму, хрому, та графіту (W - Cr - C) виявив легований шар товщиною від 10 мкм до 15 мкм (рис. 3.5).

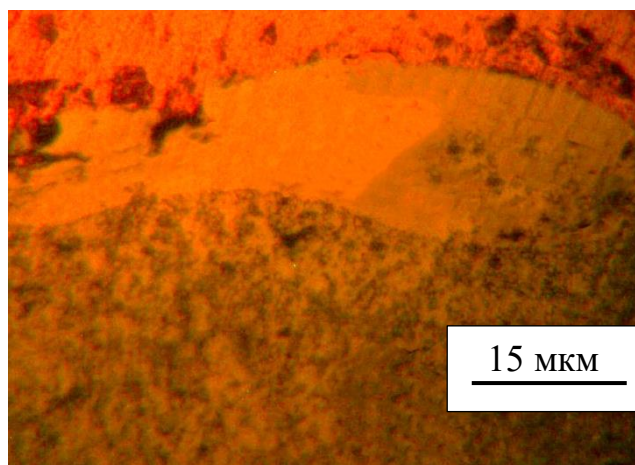


Рисунок 3.5 – Мікроструктура поверхні сталі 40X13 після легування за схемою W-Cr-C

Графік залежності приросту маси катоду та ерозії аноду під час електроіскрової обробки зразка анодами вольфраму, хрому та графіту подано на рис. 3.6.

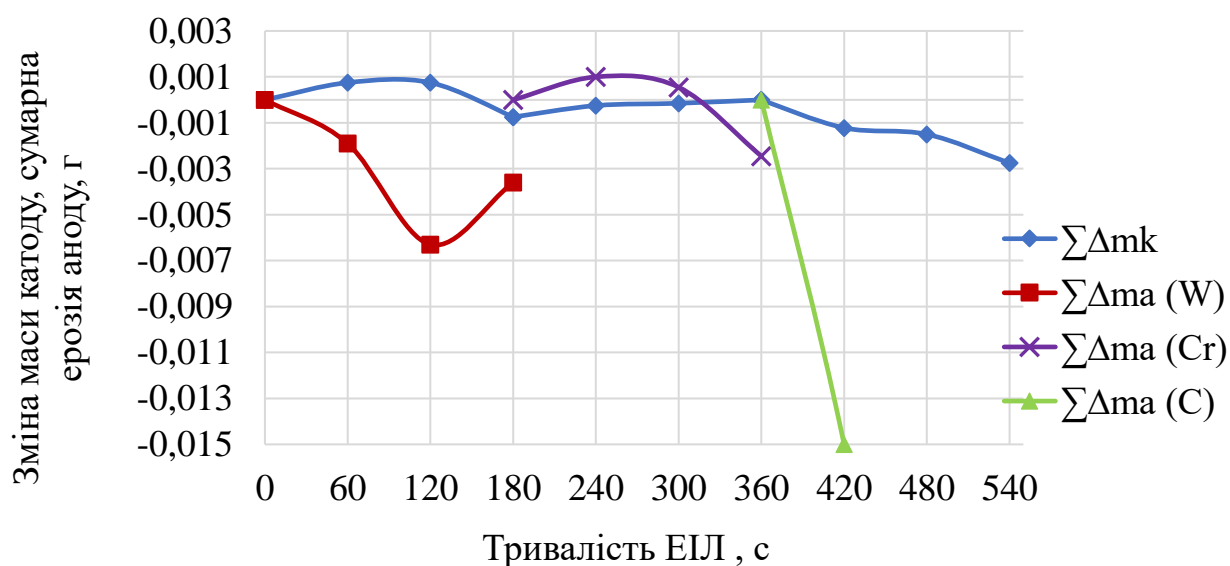


Рисунок 3.6 – Кінетика масоперенесення в процесі пошарового ЕІЛ анодами W - Cr - C

Як видно з кривих масоперенесення при легуванні хромом (240 с - 360 с) спостерігався приріст маси катоду при незначній зміні маси аноду. Це можливо пов'язано з утворенням оксидів хрому на поверхні оброблюваної сталі. Значна ерозія графітового аноду при зменшенні маси катоду (360 с -

540 с) може бути зумовлене зворотнім перенесенням матеріалу на анод та випаровуванням, як аноду так і катоду.

За результатами рентгенофазового аналізу після обробки сталі 40X13 анодами у послідовності W - Cr - C в легovanому шарі було виявлено такі фази: альфа та гамма залізо, вуглець та карбід хрому. Розрахунок дифрактограми та сама дифрактограма наведені на рис. 3.7 та в табл. 3.3 (відповідно).

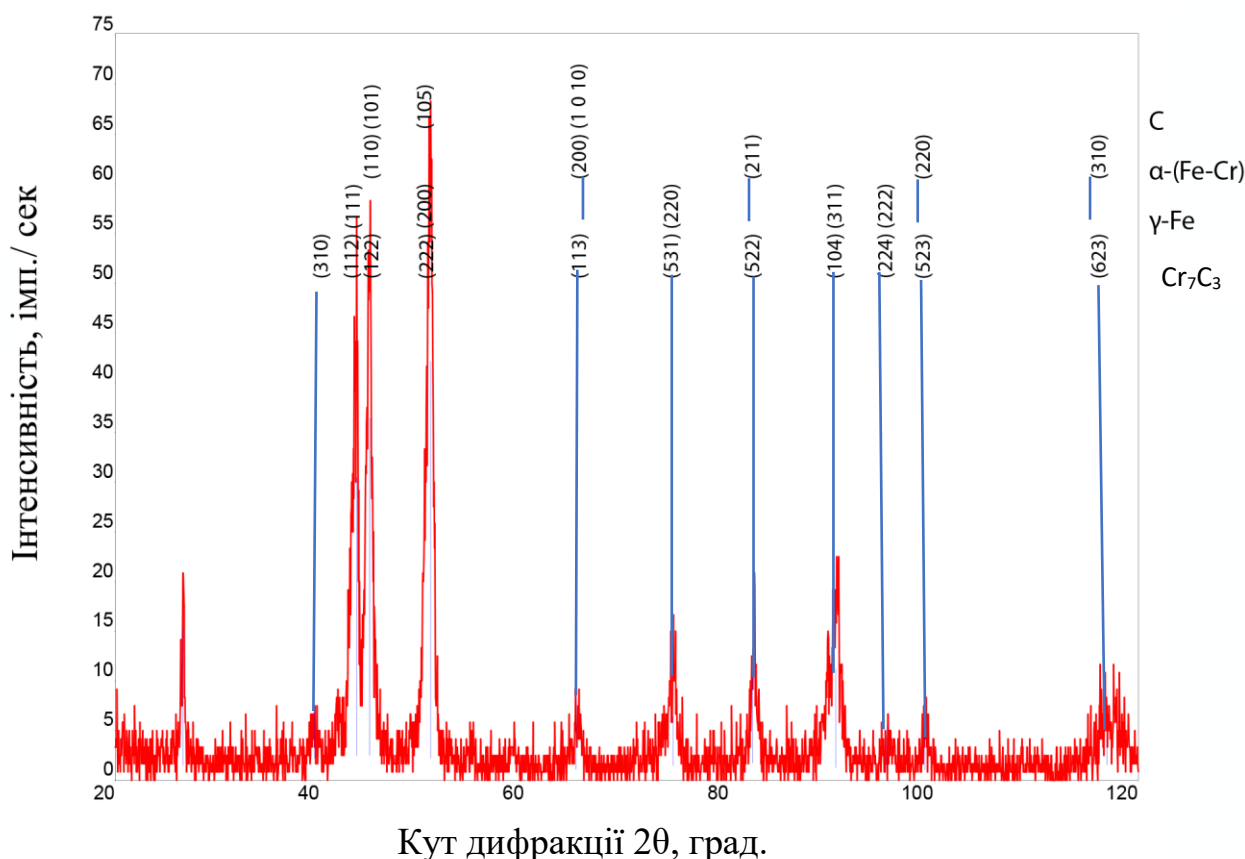


Рисунок 3.7 – Дифрактограма легovanого ЛШІ на сталі 40X13 після ЕІЛ за схемою W - Cr - C

Після обробки сталі 40X13 ЕІЛ за схемою W - Cr - C на поверхні виявилися фази: карбід хрому Cr_7C_3 , γ - та α -залізо та графіт.

При ЕІЛ в послідовності W - Cr - C графіт в поверхневому шарі не виявився. Таким чином можна відмітити, що ЕІЛ вуглецем на останній стадій процесу призводить до утворення вільного графіту в складі легovanого шару.

Таблиця 3.3 – Результат фазового рентгенівського дослідження сталі 40X13 після ЕІЛ анодами вольфрамом, хромом та графітом

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплосинна відстань d, Å	Фаза (hkl)
1	26,62	3,3462(18)	C (006)
2	39,49	2,27988	Cr ₇ C ₃ (310)
3	43,60	2,0741(7)	γ -Fe (111), Cr ₇ C ₃ (112)
4	44,85	2,0191(16)	α -(Fe-Cr)(110), C(101), Cr ₇ C ₃ (122)
5	50,84	1,7946(12)	γ -Fe (200), C (105), Cr ₇ C ₃ (222)
6	65,03	1,43304	α -(Fe-Cr)(200), C(1 0 10), Cr ₇ C ₃ (113)
7	74,53	1,2721(19)	γ -Fe (220), Cr ₇ C ₃ (531)
8	82,28	1,1708(4)	α -(Fe-Cr)(211), Cr ₇ C ₃ (522)
9	90,43	1,0853(9)	γ -Fe (311), Cr ₇ C ₃ (104)
10	95,44	1,04112	γ -Fe (222), Cr ₇ C ₃ (224)
11	99,14	1,01191	α -(Fe-Cr)(220), Cr ₇ C ₃ (523)
12	116,93	0,9037(5)	α -(Fe-Cr)(310), Cr ₇ C ₃ (623)

За результатами рентгеноструктурного аналізу біли визначені розміри мікровикривлень та ОКР (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Параметри субструктури після ЕІЛ за схемою W - Cr - C

Фаза	Параметр решітки, a(Å)			Розміри блоків ОКР(Å)	Мікровикривлення $\Delta d/d$ (%)
C	2,330			204	0,40
α -(Fe-Cr)	2,864			113	0,00
γ -Fe	3,600			44,8	0,35
Cr ₇ C ₃	a(Å)	b(Å)	c(Å)	122	0,20
	7,10	12,5	4,4		

У порівнянні з ЕІЛ в послідовності W - C - Cr, легування в послідовності W-Cr-C призводить до зміни параметрів субструктури – зменшення періодів ґратки α -твердий розчин-(Fe-Cr) (від 2,869 Å до 2,864 Å)

та γ -Fe (від 3,634 Å до 3,600 Å) а також зменшення розмірів ОКР для твердого розчину α -твердий розчин-(Fe-Cr) (від 172 Å до 113 Å) і більш суттєве для γ -Fe (від 172 Å до 44,8 Å). Зменшилися і дані мікроефективних для α -твердого розчину-(Fe-Cr) з 0,27 % до 0 % і для γ -Fe з 0,708 % до 0,33 %. Параметри решітки для карбіду хрому зазнали значного збільшення у параметрі a (з 6,76 Å до 7,1 Å) менш значного у параметрі b (з 12,39 Å до 12,5 Å) та зменшення у параметрі c (з 4,59 Å до 4,4 Å), що сприяло значному зменшенню мікроефективних (з 1,39 % до 0,20 %).

Такі зміни в параметрах субструктури можуть свідчити про менший рівень мікронапружень, що виникають в легованому шарі при ЕІЛ в послідовності W - Cr - C у порівнянні з ЕІЛ в послідовності W - C - Cr.

За даними мікродюрметричного аналізу (рис. 3.8) виявлено зростання мікротвердості поверхні ЛШ при ЕІЛ за схемою W - Cr - C до 9,4 ГПа, що менше, ніж при ЕІЛ в послідовності W - C - Cr (11,6 ГПа).

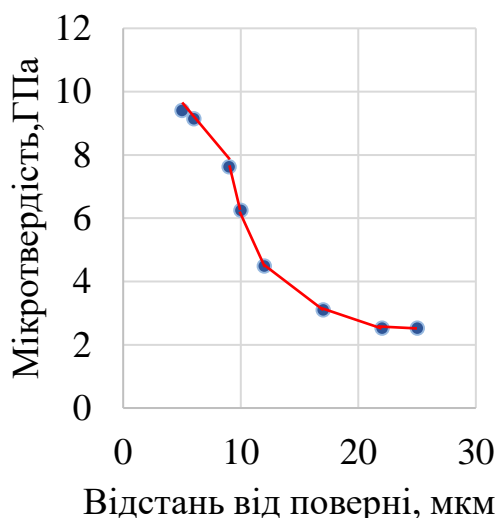


Рисунок 3.8 – Мікротвердість поверхні досліджуваного зразка сталі 40X13 після ЕІЛ анодами W - Cr - C

Як видно з графіку (рис. 3.8) значення мікротвердості в межах шару (до 10 мкм) змінюється від 9,4 ГПа до 6,25 ГПа. У порівнянні з результатами ЕІЛ за схемою W - C - Cr обробка призвела до менш значного підвищення мікротвердості.

3.3 Зносостійкість поверхонь сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами W - Cr - C та W - C - Cr

Зносостійкість утвореного легованого шару після ЕІЛ за схемою W - Cr - C у 1,77 рази вища, за зносостійкість основи, сталі 40X13 (рис. 3.9). А зносостійкість утвореного шару після ЕІЛ за схемою W - C - Cr перевищує зносостійкість матеріалу основи у 1,34 разів (рис. 3.9).

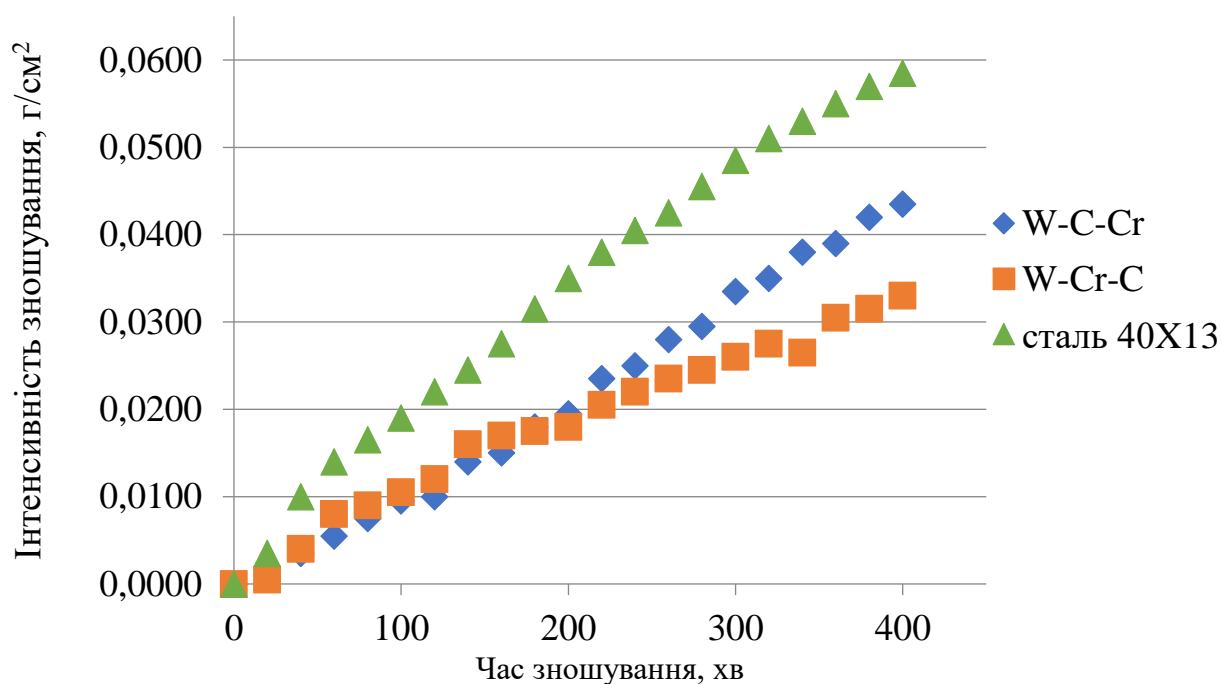


Рисунок 3.9 – Інтенсивність зношування поверхні шару сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами W - Cr - C та W - C - Cr

Більша зносостійкість шару легованого за схемою W - Cr - C може бути пояснена наявністю графіту на поверхні, що відігравав роль сухого мастила таким чином зменшуючи зношування матеріалу легованого шару. Однак з графіків зносостійкості можна бачити, що «полички зношування» не утворюється тобто жодна з схем ЕІЛ не є зносостійкою.

3.4 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою Cr - W - C

Мікроструктурним аналізом виявлено рівномірний шар з товщиною легованого шару від 15 мкм до 30 мкм та значним підшаром товщина якого досягає 10 мкм (рис. 3.10).

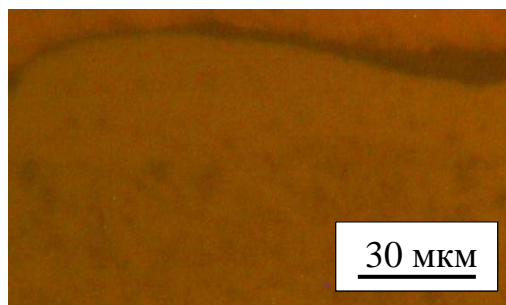


Рисунок 3.10 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X13 після ЕІЛ за схемою Cr - W - C

Результат гравіметричного аналізу наведено на графіку (рис. 3.11).

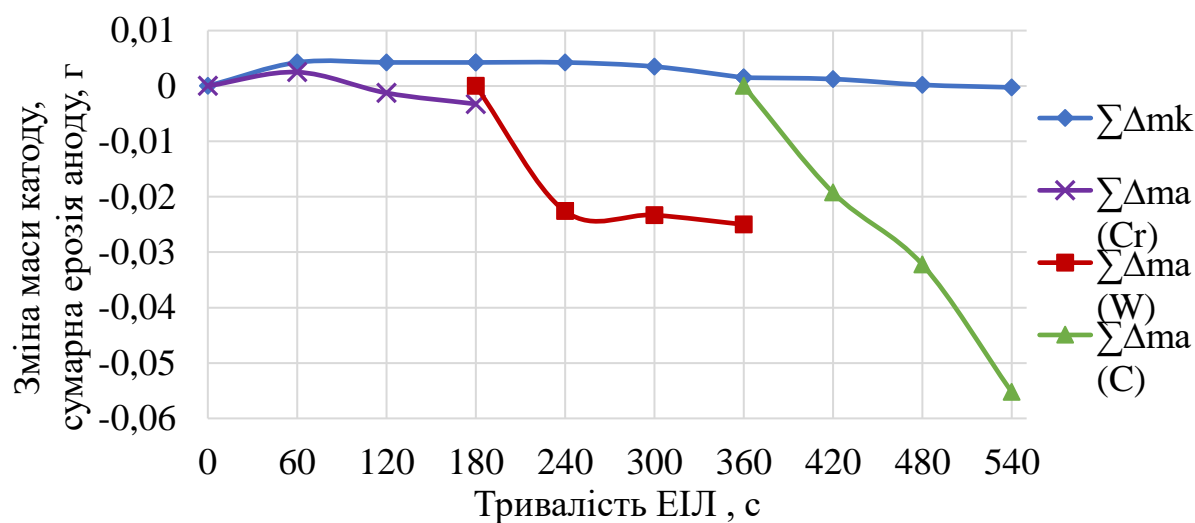


Рисунок 3.11 – Кінетика масопереносу в процесі ЕІЛ хромом, вольфрамом та графітом

Як видно з графіку найбільшої ерозії зазнав анод вольфраму і в той же час (180 с – 360 с) спостерігається невеликий приріст маси катоду.

Результати рентгенофазового аналізу зразка сталі 40X13 після тристадійної електроіскрової обробки анодами хрому, вольфраму та графіту занесені до табл. 3.5. Дифрактограма наведена на рис. 3.12.

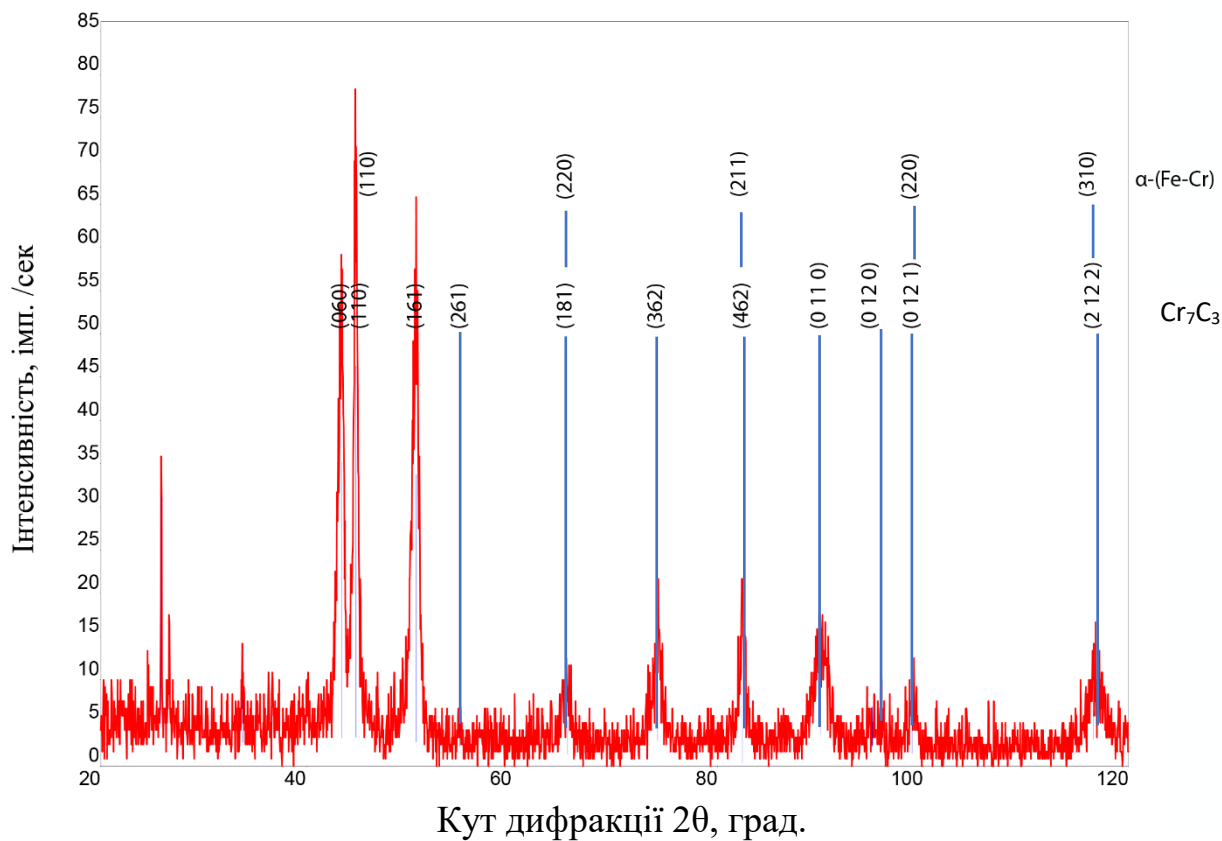


Рисунок 3.12 – Дифракційна картина легованого шару на сталі 40X13 легованого за схемою Cr - W - C

Таблиця 3.5 – Результат фазового рентгенівського аналізу ЛШ зразка сталі 40X13 утвореного при ЕІЛ анодами Cr - W - C

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань d , Å	Фаза (hkl)
1	2	3	4
1	43,45(4)	2,0811(19)	Cr_7C_3 (060)
2	44,84(3)	2,0196(13)	α -(Fe-Cr)(110), Cr_7C_3 (110)
3	50,70(5)	1,7990(16)	Cr_7C_3 (161)
4	54,89	1,67119	Cr_7C_3 (261)

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4
5	65,42(18)	1,425(3)	α -(Fe-Cr)(220), Cr ₇ C ₃ (181)
6	74,18(14)	1,277(2)	Cr ₇ C ₃ (362)
7	82,43(2)	1,1690(3)	α -(Fe-Cr)(211), Cr ₇ C ₃ (462)
8	90,01(17)	1,0893(16)	Cr ₇ C ₃ (0 11 0)
9	95,05	1,04436	Cr ₇ C ₃ (0 12 0)
10	98,95	1,01338	α -(Fe-Cr)(220), Cr ₇ C ₃ (0 12 1)
11	116,6(3)	0,9054(16)	α -(Fe-Cr) (310), Cr ₇ C ₃ (2 12 2)

За результатами рентгеноструктурного аналізу були визначені розміри ОКР та мікровикривлення (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Параметри субструктури зразка після ЕІЛ за схемою Cr - W - C

Фаза	Параметр решітки, (Å)			Розміри блоків ОКР(Å)	Мікровикривлення $\Delta d/d$ (%)
α -(Fe-Cr)	2,866			123(37)	0
Cr ₇ C ₃	a(Å)	b(Å)	c(Å)	113(16)	0
	7,29	12,5	4,451		

Порівнюючи параметри субструктури поверхневого шару зразка після ЕІЛ в послідовності Cr - W - C з попередніми зразками легованих в послідовностях (W - C - Cr та W - Cr - C, відповідно) можна спостерігати збільшення параметру решітки карбіду хрому Cr₇C₃ для параметру a (з 6,76 Å та 7,10 Å до 7,29 Å), для параметра b (з 12,39 Å та 12,5 Å до 12,5 Å), параметр c зазнав змін (з 4,59 Å та 4,4 Å до 4,45 Å) а також зміну ОКР (23,22 Å та 122 Å до 113(16) Å). Менш значні зміни параметру решітки спостерігаються у α -твердий розчин-(Fe-Cr) (2,869 Å та 2,864 Å до 2,866 Å. Також зазнали змін розміри блоків ОКР (від 192 Å та 113 Å до 123 Å).

За результатами рентгенофазового аналізу після обробки сталі 40X13 анодами у послідовності Cr - W - C в легovanому шарі було виявлено такі фази: карбід хрому Cr_7C_3 , α -твердий розчин-(Fe-Cr) та спостерігається 1 лінія графіту.

При мікродюрOMETричному аналізі зразків після ЕІЛ в послідовності Cr-W-C (рис. 3.13), було зафіксовано значення мікротвердості легovanого шару 7 ГПа.

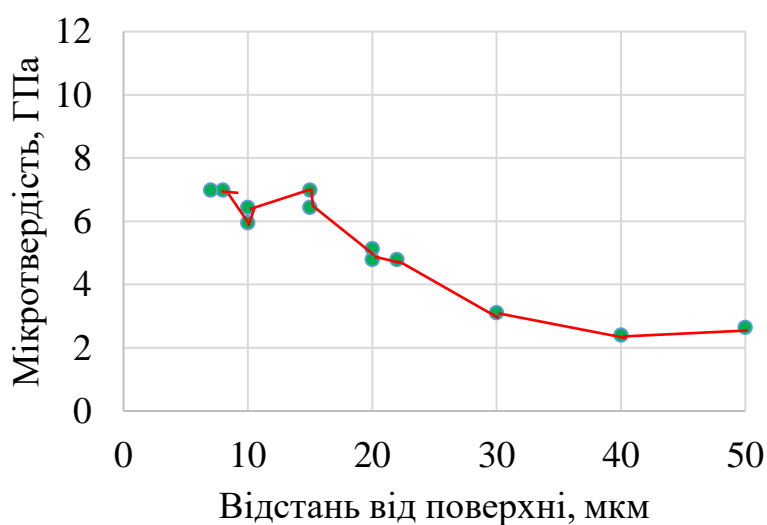


Рисунок 3.13 – Мікротвердість поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ за схемою Cr - W - C

В межах легovanого шару мікротвердість змінюється від 7 ГПа до 4,5 ГПа, що може свідчити про неоднорідний фазовий склад цієї зони. У порівнянні з попередніми результатами ЕІЛ обробка за схемою W - Cr - C призводить до менших значень мікротвердості легovanого шару, до утворення більш рівномірного за товщиною легovanого шару.

3.5 Дослідження зразків після ЕІЛ за схемою Cr - C - W

Після ЕІЛ утворюється рівномірний шар товщиною від 10 мкм до 15 мкм (рис. 3.14).

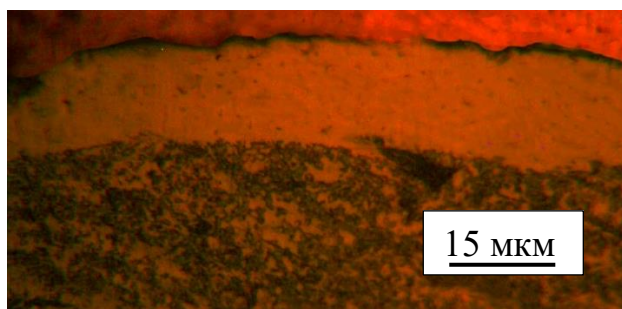


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X13 після ЕІЛ за схемою Cr - C - W

Графік залежності приросту маси катоду та ерозії аноду під час електроіскрової обробки зразка анодами хрому, вольфраму та графіту подано на рис. 3.15.

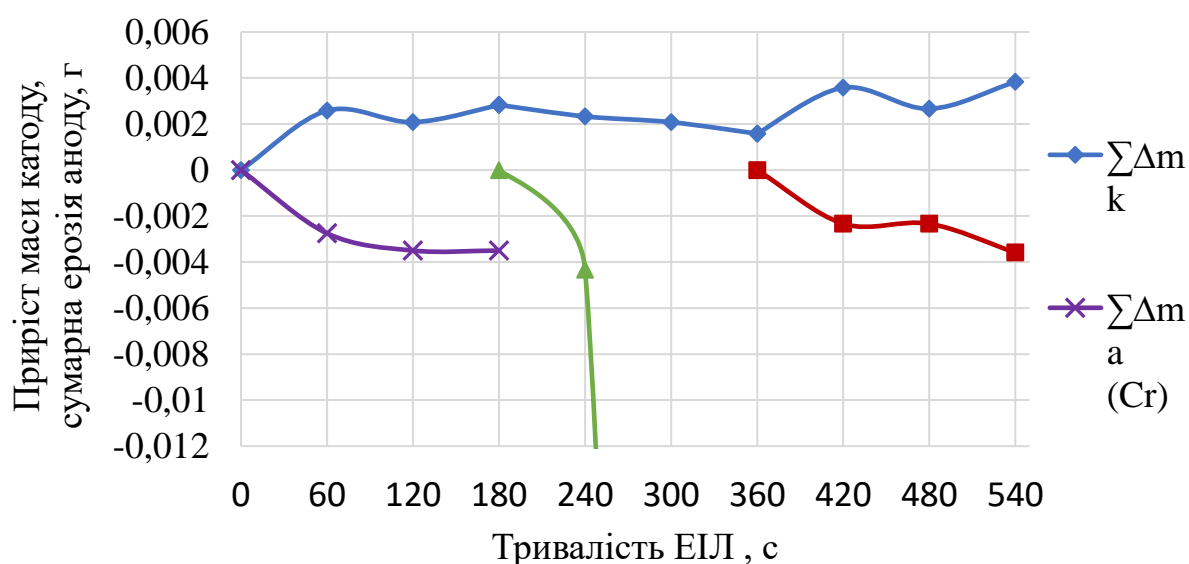


Рисунок 3.15 – Кінетика масоперенесення в процесі ЕІЛ в послідовності Cr - C - W

Під час легування хромом (180 с) спостерігається ріст маси катоду, який в подальшому спадає (до 360 секунди). В той же час відбувалася значна ерозія аноду хрому (до 180 секунду) та аноду графіту (з 180 секунди до 360 секунди), що можна пояснити випаровуванням графітового аноду під час обробки поверхні сталі. Також приріст маси катоду спостерігається при обробці анодом вольфраму (з 360 секунди до 540 секунди).

ЕІЛ в послідовності Cr - C - W призвело до підвищення мікротвердості легованого шару, до 8,7 ГПа (рис. 3.16). В межах легованого шару мікротвердість змінюється від 8,7 ГПа до 4,5 ГПа, що може свідчити про неоднорідний фазовий склад цієї зони. У порівнянні з попередніми результатами ЕІЛ обробка за схемою Cr - C - W призводить до менш значного підвищення мікротвердості (8,7 ГПа) (в порівнянні зі значеннями мікротвердості отриманих при легуванні за схемами Cr - W - C (до 7 ГПа), W - Cr - C (до 9,4 ГПа) і W - C - Cr (до 11,6 ГПа)).

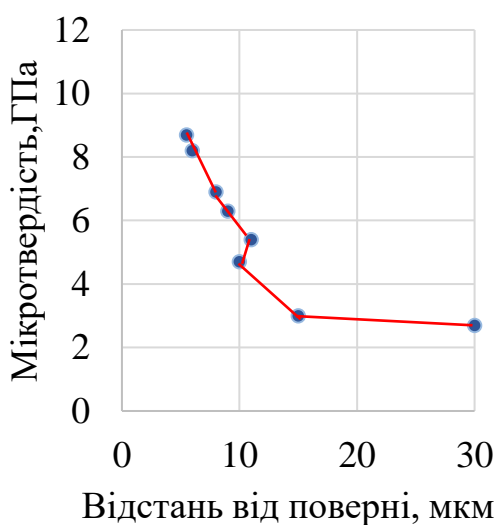


Рисунок 3.16 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі 40X13 після ЕІЛ за схемою Cr - C - W

В порівнянні з шаром отриманим за схемою легування Cr - W - C (до 30 мкм), дана система має меншу товщину шару (до 15 мкм).

3.6 Зносостійкість поверхонь сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами Cr - C - W та Cr - W - C

Для порівняння зносостійкості легованих шарів сталі 40X13, були випробувані зразки після ЕІЛ за схемами Cr - C - W та Cr - W - C.

Зносостійкість утвореного легованого шару після ЕІЛ за схемою Cr - C - W у 1,24 разів, вища ніж зносостійкість матеріалу основи (рис. 3.17).

Зносостійкість утвореного легованого шару за схемою Cr - W - C у 3,66 разів вища ніж зносостійкість вихідного матеріалу без обробки (рис. 3.17). Як видно з графіку (рис. 3.17) інтенсивність зношування матеріалу без обробки значно переважає інтенсивність зношування після ЕІЛ за схемою Cr - W - C, поличка зношування говорить про утворення зносостійкого покриття.

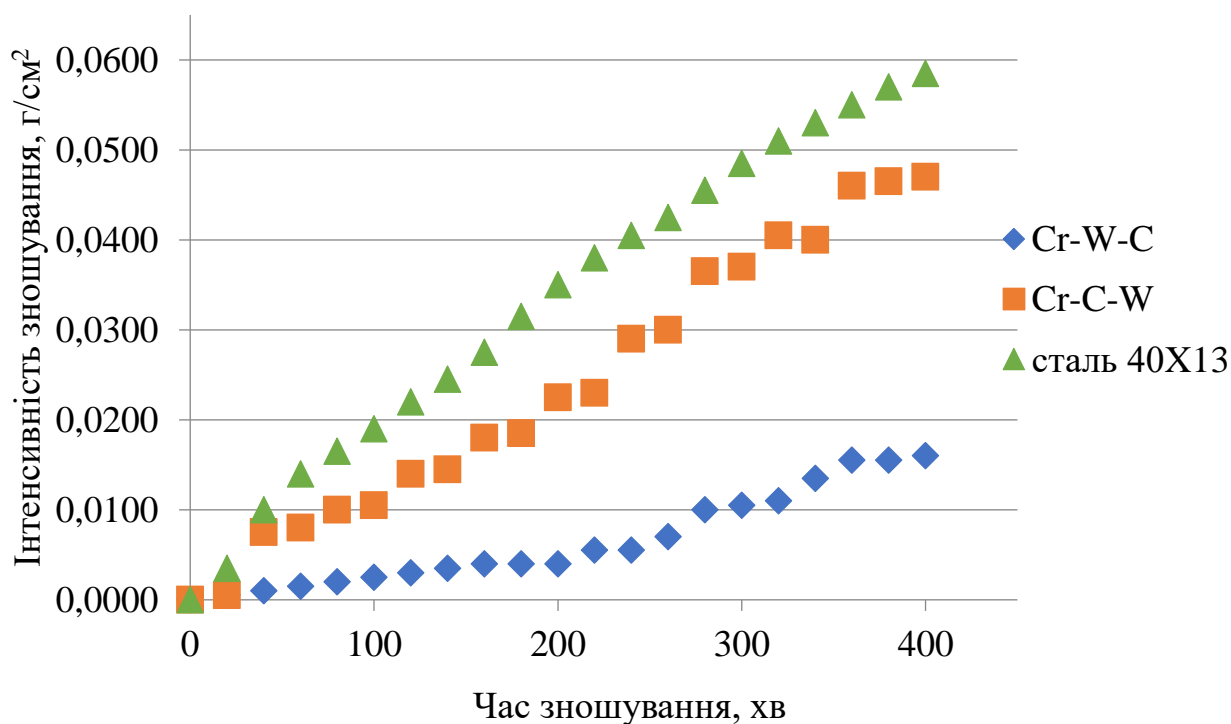


Рисунок 3.17 – Інтенсивність зношування поверхні шару сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами Cr - C - W та Cr - W - C

Значне зниження тертя може бути пояснено наявністю фази графіту в легованому шарі, що слугувало сухим мастилом та утворенням структури, що відповідає принципу Шарпі [26].

3.7 Порівняльна характеристика шарів отриманих при ЕІЛ анодами W, Cr та C

Дослідженням структури та властивостей поверхневих шарів сталі 40X13 після ЕІЛ анодами W, Cr та C за схемами W - Cr - C, W - C - Cr,

Cr - W - C та Cr - C - W було виявлено, що легований шар утворений за схемою Cr - W - C має найбільшу товщину (до 30 мкм) в порівнянні з усіма вище зазначеними схемами (де шар не перевищує 15 мкм) (рис. 3.18).

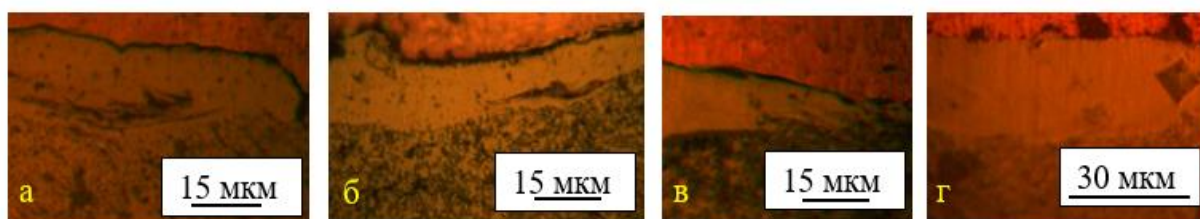


Рисунок 3.18 – Мікроструктура поверхонь сталі 40X13 після ЕІЛ за схемами легування (а) W - C - Cr, (б) W - Cr - C, (в) Cr - C - W, (г) Cr - W - C

Діаграма, для наочного зображення заєжності товщини легованого шару від схеми легування, приведена на рис. 3.19.

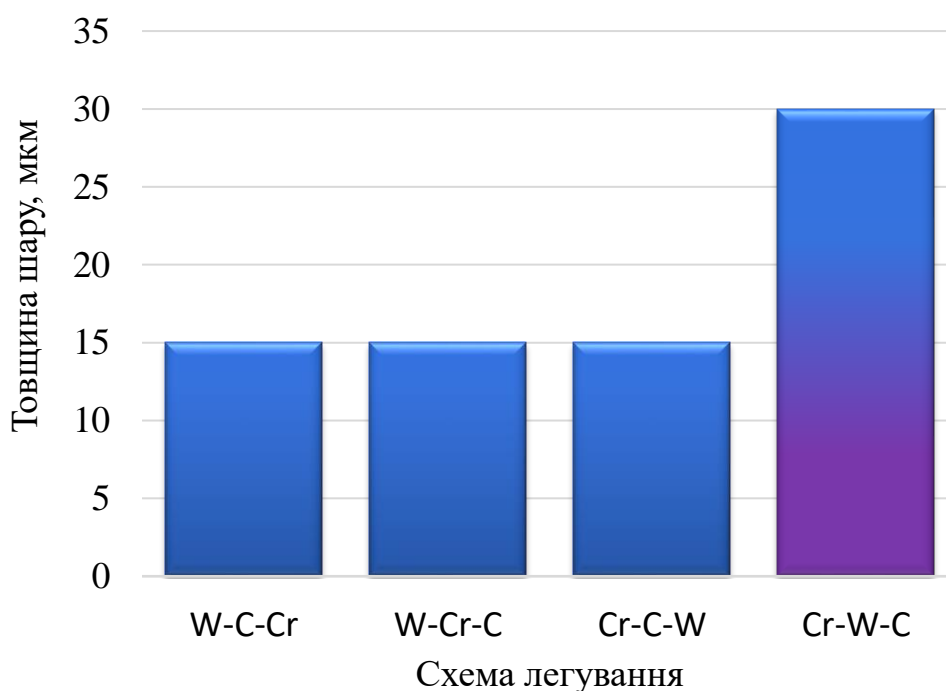


Рисунок 3.19 – Залежність товщини ЛШ від схеми легування

Ретгенофазовий аналіз дав змогу виявити розмір ОКР в досліджуваних зразках, що леговані за схемами W - C - Cr, W - Cr - C, та Cr - W - C найбільший розмір ОКР карбіду Cr_7C_3 має легований шар W - Cr - C (122 Å), трохи менші розміри ОКР має шар після ЕІЛ у послідовності Cr - W - C (113 Å) і найменший W - C - Cr (23,22 Å). На рис. 3.20 наведено діаграму

залежності розміру ОКР для фази карбіду хрому Cr_7C_3 після ЕІЛ за зазначеними послідовностями.

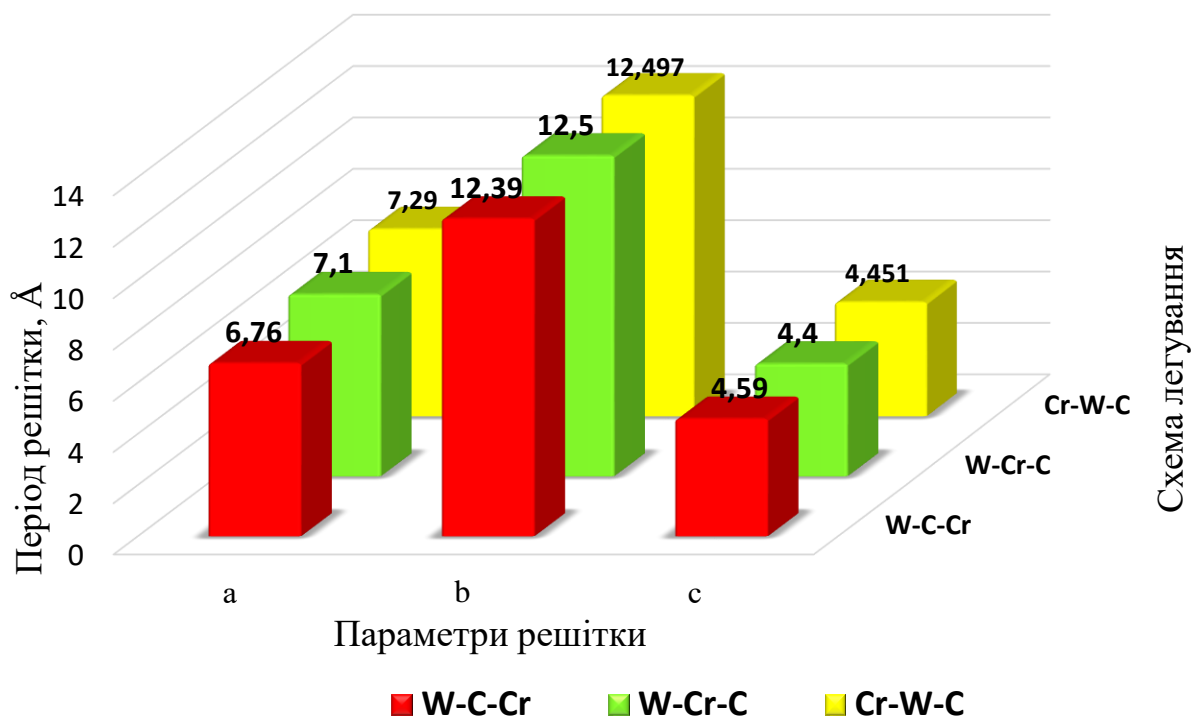


Рисунок 3.20 – Залежність періоду решітки, для фази Cr_7C_3 , від схеми легування

При легуванні за схемою W - C - Cr фази графіту виявлено не було, це може пояснюватися недостатньою чутливістю методу рентгенофазового аналізу та тим фактором, що більшість графіту утворила фазу карбіду хрому Cr_7C_3 .

Аналіз ОКР фази твердого розчину $\alpha\text{-(Fe-Cr)}$ виявив зміни у періодах гратки після ЕІЛ за схемами W - C - Cr та W - Cr - C (2,8694 Å та 2,64 Å відповідно). При легуванні за схемою Cr - W - C параметр гратки a відносно теоретичного (2,866 Å) не зазнав змін. Діаграма з наочним представленням зміни параметру решітки a твердого розчину $\alpha\text{-(Fe-Cr)}$ для наведена на рис. 3.21.

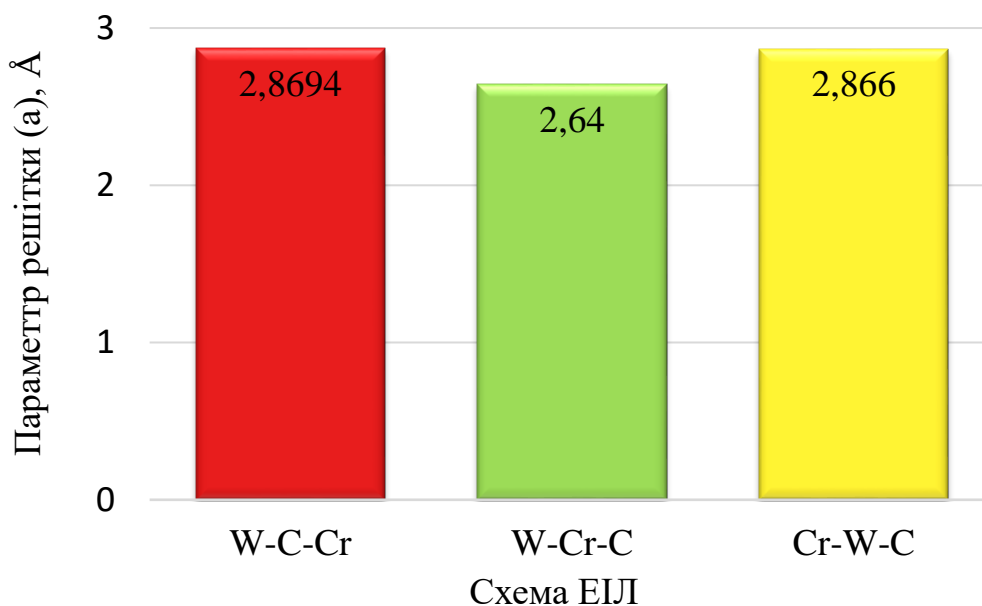


Рисунок 3.21 – Залежність параметру ґратки a для фази α -(Fe-Cr) від схеми ЕІЛ

Оскільки такий ефект спостерігається лише в одній схемі ЕІЛ де першим легуючим елементом слугував хром, це можна пояснити тим, що хром необмежено розчинний у залізі та має схожий період решітки (Fe 2,866 Å і для Cr 2,2885 Å).

Аналіз даних ОКР фази γ -Fe вивив наявність її у двох зразках після схем ЕІЛ: W - Cr - C та W - C - Cr. Параметр ґратки (a) для системи W - C - Cr відносно параметру ґратки (a) для системи W - Cr - C збільшився (3,634 Å та 3,6008 Å відповідно). Графічне представлення даних приведено на рис. 3.22.

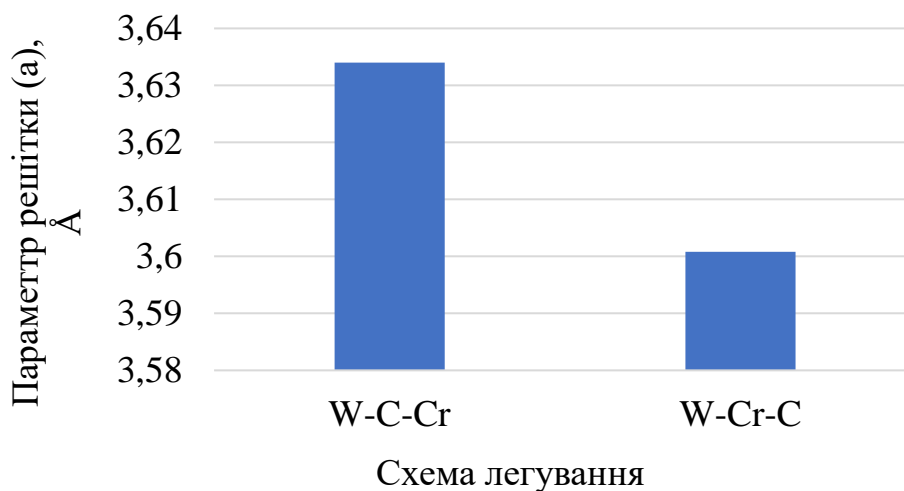


Рисунок 3.22 – Залежність розміру ОКР фази γ -Fe від схеми легування

Фазовий аналіз не виявив карбідів вольфраму, що імовірно зумовлено високою ерозійною стійкістю цього елемента.

Відстоковий вміст кожної з фаз для схем легування: W - C – Cr, W - Cr – C та Cr - W - C Сприведено на рис. 3.23.

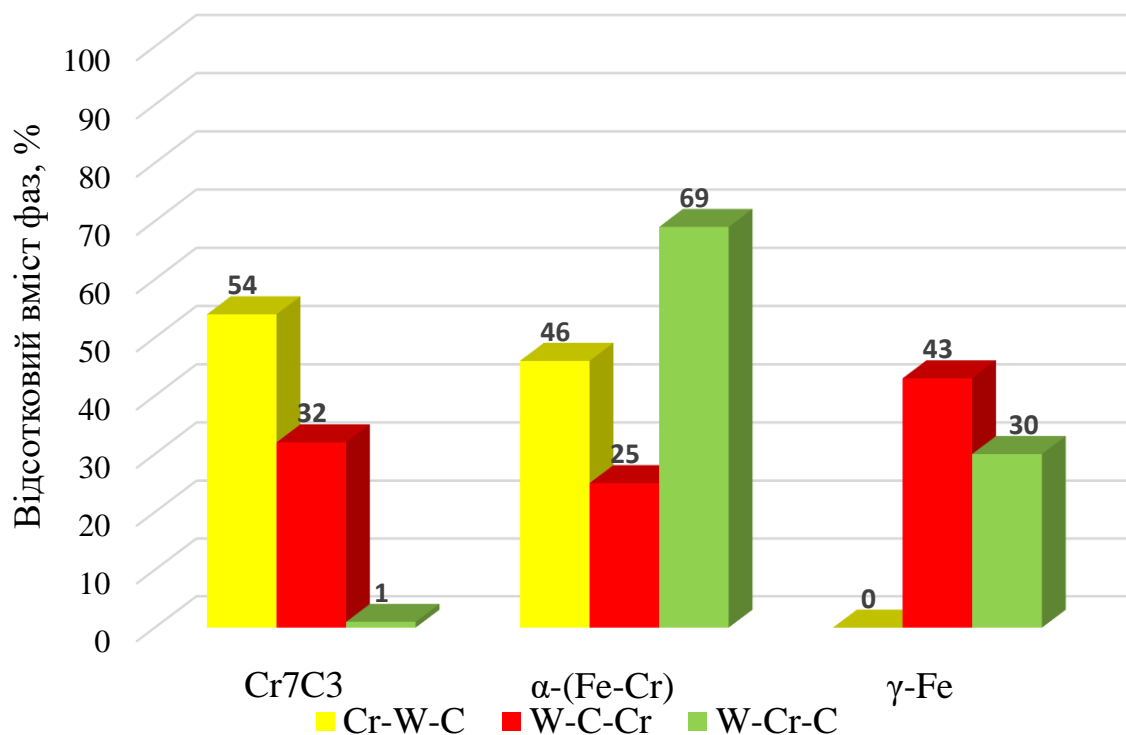


Рисунок 3.23 – Відстоковий вміст фаз в зразках після ЕІЛ за схемами Cr - W - C, W - C - Cr, W - Cr - C

Пояснення того факту, що жодна з систем Cr - W - C, W - C - Cr та W - Cr - C, за результатами рентгенофазового аналізу не містить фази графіту є у тому, що виявленої фази графіту менше відсотка, тобто кількість фази лежить за межами чутливості методу.

Мікровикривлення виявлені при рентгенофазовому аналізі зразків легуваних у послідовностях Cr - W - C, W - C - Cr та W - Cr - C складають для фази Cr₇C₃ (0 %, 1,39 % та 0,2 %) відповідно. Мікронапруження для фази α- (Fe-Cr) наявні лише у шарі з послідовністю легування W - C - Cr і складають 0,27 % в інших послідовностях дана фаза мікронапружень не має, схожа ситуація з фазою графіту мікронапруження в якій наявні лише при

послідовності нанесення елементів W - Cr - C. Фаза γ -Fe має мікронапруження при послідовностях нанесення W - C - Cr та W - Cr - C (0,708 % та 0,35 % відповідно), при ЕІЛ за схемою Cr - W - C мікрОВикривлення складають 0 %. На рис. 3.24 наведено графік залежності мікрОВикривлень фази від послідовності нанесення матеріалу аноду.

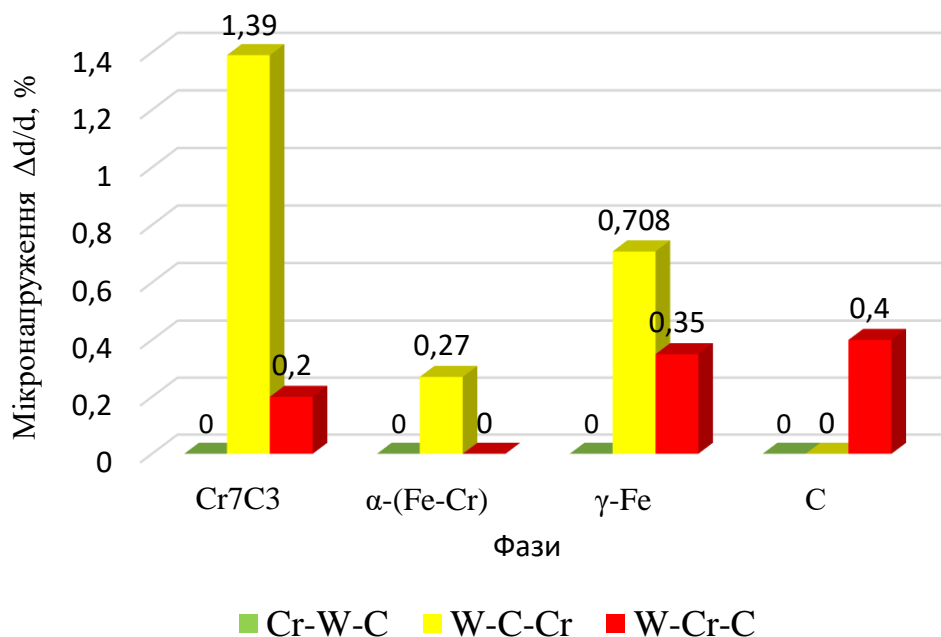


Рисунок 3.24 – Залежність мікронапружень фази від схеми ЕІЛ

Виявлено, що при легуванні з використанням схеми W - C - Cr утворюється шар з найбільшою мікротвердістю (до 11,6 ГПа), трохи менша мікротвердість (до 9,4 ГПа) спостерігається після ЕІЛ за схемою W - Cr - C, ще менша мікротвердість (8,7 ГПа) легованого шару після легування анодами у послідовності Cr - C - W, найменша мікротвердість спостерігалась в шарі легованому за схемою Cr - W - C (7 ГПа). Графічне представлення наведено в рис. 3.25.

Найбільша мікротвердість спостерігається в зразках сталі 40X13 при послідовності ЕІЛ коли першим легувальним елементом слугував W. Оскільки W необмежено розчиняється в хромі і обмежено в Fe, то утворюється насичені тверді розчини зі збільшеними періодами ґратки 2,8694 Å. Це призводить до підвищення розчинення вуглецю в твердому розчині при

наступній стадії легування зразка.

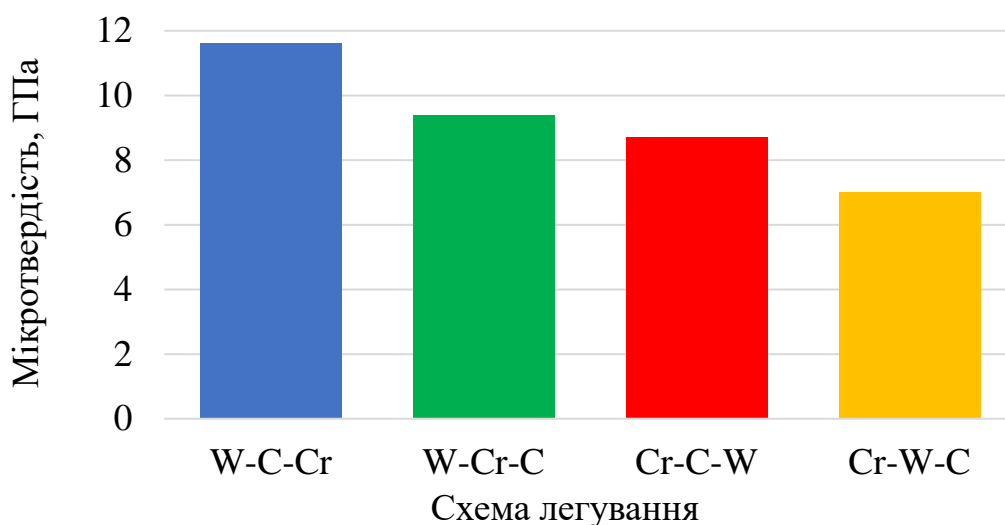


Рисунок 3.25 – Залежність мікротвердості ЛШ від семи легування

Дослідження зносостійкості отриманих шарів на сталі 40X13 після ЕІЛ анодами: W, Cr та графітом виявило збільшення зносостійкості у всіх легованих зразках. Найбільший ріст зносостійкості спостерігається при послідовності легування Cr - W - C (в 3,6 разів) в порівнянні з необробленим зразком, найменший приріст зносостійкості має зразок легований за схемою W-Cr-C (в 1,77 разів), відносно незначний ріст зносостійкості спостерігається у зразків W - C - Cr та Cr - C - W (1,34 разів та 1,24 разів відповідно).

На рис. 3.26 наведено діаграму де зазначено збільшення зносостійкості, в порівнянні з вихідним матеріалом, для всіх зазначених схем легування.

Такий розподіл значень підвищень зносостійкості можна пояснити формуванням структури легованого шару, яка відповідає «принципу Шарпі» і має підвищену стійкість до зношування, а саме відносно м'яка пластична основа і включення дисперсної фази з високою твердістю. При легуванні хромом зразка сталі 40X13 утворюється твердий розчин α -(Fe-Cr) і при подальшому легуванні W і C формуються дисперсні карбіди хрому Cr_7C_3 з високою твердістю. Суттєву роль можуть відігравати області вільного

графіту, які можуть слугувати твердим мастилом при терті.

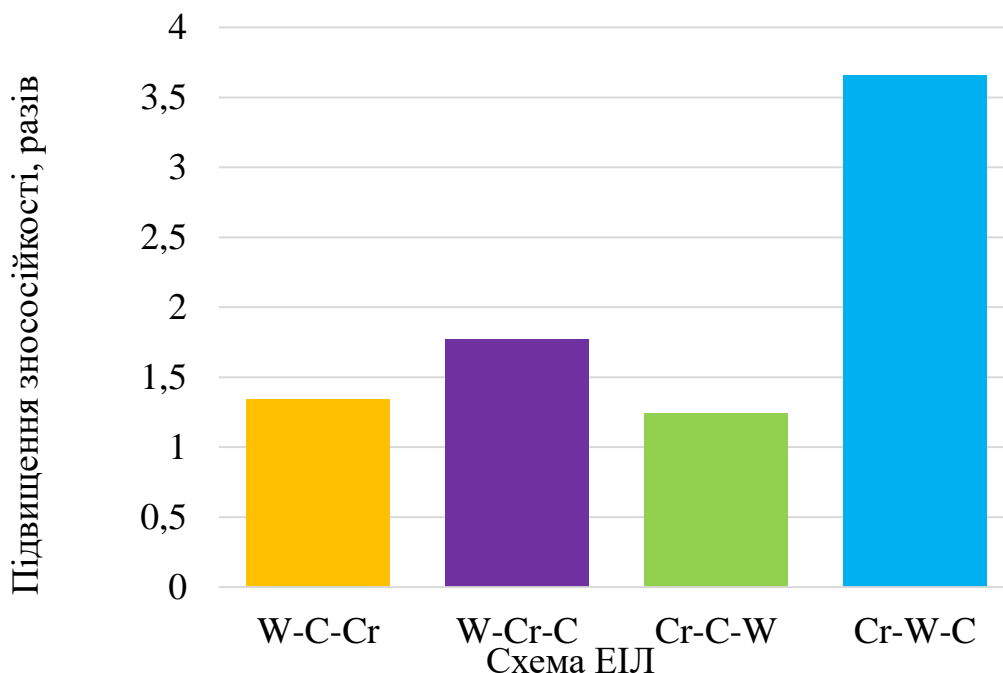


Рисунок 3.26 – Порівняльна діаграма підвищення зносостійкості відповідно до схеми легування

Оскільки при легуванні за схемою W - Cr - C графіт також наносився останнім це сприяло підвищенню зносостійкості відносно зразків після ЕІЛ в послідовностях W - C - Cr та Cr - C - W. Однак попередньо на зразок наносився хромовий анод, що сприяло утворенню твердого розчину α -(Fe-Cr) та карбідів хрому, але при такому процесі імовірно на поверхні формувалося менше вільного графіту і це у меншій мірі в порівнянні з схемою обробки Cr - W - C сприяло зменшенню тертя.

3.8 Висновки до розділу 3

Аналіз отриманих експериментальних даних по ЕІЛ сталі дозволив зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що зміна послідовності ЕІЛ сталі 40X13 анодами W, Cr, C впливає на якісний та кількісний фазовий склад легованого шару, його субструктуру і, відповідно, властивості – мікротвердість та

зносостійкість.

2. Виявлено, що найвищу мікротвердість (11,6 ГПа) легований шар має при ЕІЛ сталі в послідовності W - C - Cr. Мікротвердість легovanого шару при інших послідовностях ЕІЛ має наступні значення: до 9,4 ГПа при послідовності W - Cr - C, 8,7 ГПа при Cr - C - W, 7 ГПа при Cr - W - C.

3. Показано, що більш високі значення мікротвердості досягаються в легованих шарах, які формувалися при першому легуванні вольфрамом, що могло супроводжуватись утворенням пересиченого розчину вольфраму в залізі, збільшенні періоду ґратки заліза (до 2,869 Å), збільшенню концентрації розчиненого вуглецю, формуванні дисперсних карбідів хрому (ОКР 23,2 Å) з високими мікронапруженнями ($\Delta d/d = 1,39\%$).

4. Встановлено, що найбільшу зносостійкість має легований шар при послідовності легування Cr - W - C (в 3,6 разів в порівнянні з необроблюваним зразком), меншу зносостійкість мають легovanі шари нанесені в послідовності W - Cr - C (в 1,77 разів), у послідовності W - C - Cr (в 1,34 разів) та у послідовності Cr - C - W (в 1,24 рази).

5. Показано, що підвищена зносостійкість легovanого шару при ЕІЛ Cr-W-C зумовлена формуванням структури легovanого шару, яка відповідає «принципу Шарпі» і має підвищену стійкість до зношування, а саме відносно м'яка пластична основа і включення дисперсної фази з високою твердістю. При легуванні хромом зразка сталі 40X13 утворюється твердий розчин α -(Fe-Cr) і при подальшому легуванні W і C формуються дисперсні карбіди хрому Cr_7C_3 з високою твердістю. Суттєву роль можуть відігравати області вільного графіту, які можуть слугувати твердим мастилом при терті.

6. Виявлено, що найбільшу товщину (до 30 мкм) має легований шар утворений за схемою Cr - W - C. При інших послідовностях обробки товщина легovanого шару не перевищує 15 мкм.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета даного розділу – аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що можуть призвести до ураження організму та умов, котрі спричиняють травмуванню під час проведення електроіскрового легування сталі 40X13 анодами Cr, W та C, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів.

У даному розділі розглянуто засоби охорони праці під час виконання досліджень, що проводилася на «Елітрон-26».

Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні чинники:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- шум;
- вібрації;
- освітлення;
- електричний струм;
- випромінювання від комп'ютера.

4.1 Правові та організаційні основи охорони праці КПІ ім. Ігоря Сікорського

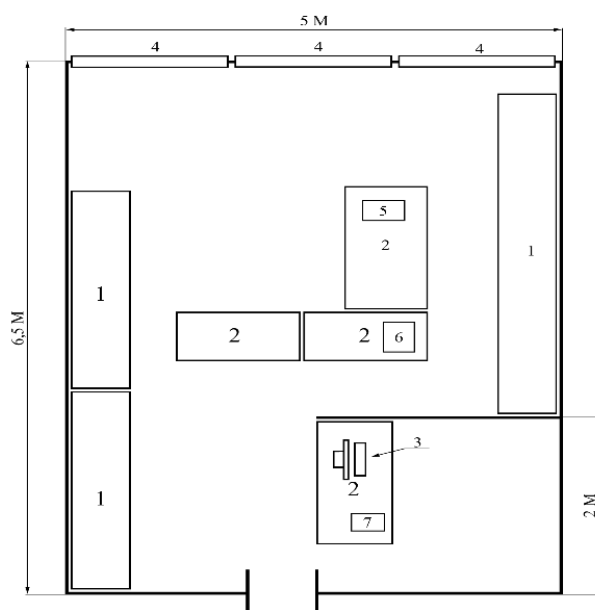
Служба охорони праці в КПІ ім. Ігоря Сікорського (в якому була проведена робота) підпорядковується ректору М.З. Згуровському. Посаду начальника відділу охорони праці в КПІ ім. Ігоря Сікорського займає Е.Г. Луцик. Відповідальною особою, що гарантує дотримання вимог охорони праці на інженерно-фізичному факультеті є П.І. Лобода, на кафедрі фізики металів (5 поверх навчального корпусу № 9) – Є.В. Іващенко.

4.2 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

4.2.1 Мікроклімат

Чистота повітря його хімічний склад, оптимальність температури, вологість та його (повітря) швидкість руху має суттєве значення для нормальної працездатності людини. Саме тому важливим є аналіз мікроклімату у лабораторіях в котрих здійснювалось дослідження. Зазначені параметри (температури, рухливості повітря у робочій зоні та вологості повітря) є характеристиками придатності умов для роботи дослідників, відповідно до встановлених норм [41], з якими і необхідно співвіднести отримані дані.

Магістерська дисертація виконана в лабораторії № 034, 0 (нульового) поверху, навчального корпусу № 9 кафедри фізики металів КІІ ім. Ігоря Сікорського. Схематичне зображення лабораторії із розташуванням всіх її елементів представлено на рис. 4.1



1 – шафа; 2 – стіл; 3 – обчислювальна техніка; 4 – вікна; 5 – ПМТ-3М; 6 – «Элитрон – 26А»; 7 – МІМ-8М

Рисунок 4.1 – Схема лабораторного приміщення в якому виконувалась магістерська дисертація

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, категорія робіт Іб легка (роботи, які виконуються сидячі, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деякими фізичними напруженнями) за такої категорії робіт енерговитрати складають до 150 Ккал/год [41].

Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови

Період року	Категорія робіт	Температура		Відносна вологість, %		Швидкість руху пов., м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодний	Іб	21-23	20-24	60-40	<75	0,1	0,1-0,3
Теплий		22-24	21-28	60-40	<65	0,2	0,1-0,3

За результатами дослідження виявлено, що у робочій зоні лабораторій № 034 та № 036 фактична температура у холодний період року становить +5 °С, фактична швидкість руху повітря – 0,1 м/с та фактична відносна вологість 70 %. В теплий період року фактична температура становить +15 °С, фактична швидкість руху повітря – 0,2 м/с та фактична відносна вологість – 55 %.

На основі написаного робимо висновок, що мікроклімат в лабораторіях не відповідає наведеним у табл. 4.1 оптимальним умовам.

4.2.2 Освітленість

Правильно підібране освітлення, відповідно до норм [42], надає сприятливі умови для організації робочого процесу. Освітлення поділяють на три типи: природне, штучне та суміщене. В свою чергу природне освітлення поділяють на бічне, верхнє та комбіноване, а штучне на – загальне та місцеве.

Невірно підібране освітлення, його нерівномірність, недостатність або надмірність у полі зору працівника наносить шкоду здоров'ю, призводить до зниження продуктивності та розсіювання уваги, що в свою чергу веде до

підвищення ризику нещасних випадків.

Коли правильно розраховано і підібрано освітлення виробничих приміщень, очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці. Такі умови освітлення сприяють зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

До переваг природного освітлення можна віднести те, що воно сприятливо впливає на органи зору та покращує розвиток організму у цілому. До недоліків відносять – непостійне освітлення у різні періоди доби та року; нерівномірний розподіл освітленості по площі виробничого приміщення; можливість засліплення органів зору [43]. Недостатня або надмірна освітленість можуть стати причиною розвитку короткозорості, зниження гостроти зору [44].

Природне і штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5.28-2006 від характеристики зорової роботи, найменшого розміру об'єкта розрізнення, розряду зорової роботи (I-VIII), системи освітлення, характеристики фону, контрасту об'єкта розрізнення з фоном

У лабораторії № 034 здійснюється природне бокове освітлення, вікна виходять на північ, та штучне освітлення такий тип освітлення носить назву комбінований. Зовнішнє освітлення при хмарній погоді складає 1000 лк. Відстань від вікна до робочого місця не перевищує 3 м.

Для місцевого штучного освітлення використовують лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (24 одиниці на кожну з лабораторій) [43].

У кімнаті здійснюється природне бокове освітлення, вікна з південного боку. Відстань до місця основної роботи складає 1,5 м. Робота, що виконується відноситься до роботи середньої точності (четвертий розряд зорових робіт). Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (20 одиниць у кімнаті).

Згідно ДБН В.2.5–28–2006 норма освітлення становить 200 лк. Отримане значення E перевищує норму тобто, штучне освітлення є достатнім.

4.2.3 Шум

Магістерська дисертація виконувалась на установці «Елітрон- 26», що видає певний шум під час роботи, також шум надходив у процесі дослідження зразків на зносостійкість.

Шум може викликати різні загально біологічні подразнення, патологічні зміни, функціональні розлади та механічні ушкодження. Під час роботи в шумних умовах продуктивність ручної роботи може знизитись на 40%, а при розрахунках на 50% [44]. При тривалій роботі в шумних умовах перш за все уражається нервова та серцево-судинна системи та органи дихання.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-86. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів ДСН 3.3.6.037-99.

У даному випадку наявний імпульсний шум. оскільки робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від шуму використовували засоби індивідуального захисту протишумові вкладиші, які встромляються у слухові проходи.

4.2.4 Електробезпека

Відповідно до діючих правил побудови електроустановок ПУЕ-2017 з точки зору небезпеки враження людини електричним струмом приміщення лабораторії відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки електротравм. Це приміщення з струмо-непровідною підлогою та з

температурою повітря 18 °С – 25 °С. При виконанні магістерської дипломної роботи використані електроустановки живляться від мережі з напругою 220 В та частотою змінного струму 50 Гц. До причин враження електричним струмом під час виконання роботи з використанням електрообладнання належать:

1. помилкове включення електричних приладів при проведенні ремонтних робіт;
2. пошкодження ізоляції неструмопровідних частин електроприладів;
3. через відсутність засобів захисту струмопровідних частин.

Безвідповідальне ставлення до електробезпеки має небезпечні наслідки не тільки для здоров'я, а й для життя людини. Імовірність смертельного враження струмом вище, в порівнянні з іншими причинами травматизму [45].

На дію електричної поразки впливає ряд факторів:

- 1) величина струму (1 мА);
- 2) рід струму (струм перемінний);
- 3) частота струму (50 Гц);
- 4) шлях струму в організмі (г-н, р-р, р-г);
- 5) тривалість дії струму;
- 6) стан організму;

Виробниче середовище, відноситься до приміщень без підвищеної електричної безпеки.

Величина струму, що протікає через яку-небудь ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного результату.

До напруги 42 В найбільш небезпечний перемінний струм, а більше 42 В вплив однаковий як постійного так і змінного струму.

Найбільш небезпечна частота в 50 Гц...60 Гц.

Небезпека для організму людини тим менша, чим менша тривалість впливу струму. При тривалому впливі струму опір тіла людини падає і струм зростає до значення, здатного викликати зупинку дихання або навіть фібриляцію серця. Підвищена вологість повітря, струмопровідний пил та хімічно активні домішки знижують опір ізоляції електроустановки, сприяють переходу напруги на не струмопровідні частини установки, коротким замиканням тощо і, таким чином, підвищують небезпеку електротравм [45].

У лабораторіях, де проводилось дослідження, виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Завдяки розташуванню робочих місць виключається можливість дотику до корпусів, електроустаткування і приладів

4.2.5 Запиленість та загазованість

У процесі приготування шліфів на механічному верстаті утворюється неорганічний пил з сполукою кремнію та окисел хрому Cr_2O_3 при поліруванні пастою “ДОІ” у мокрому середовищі. ГОСТ 12.1.005-88 передбачає гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони: пил з діоксидом кремнію до 4% – ГДК = 4 мг/м^3 , клас 3; для оксиду хрому ГДК = 1 мг/м^3 , клас 2. В таблицю 4.2 [46] занесені виміряні та допустимі значення концентрації речовин, що виділяються при приготуванні шліфів.

Таблиця 4.2 – Концентрація речовин при приготуванні шліфів

Речовина	Концентрація речовини, мг/м^3	
	Виміряна	Допустима за нормами (ГДК)
1	2	3
Пил з діоксидом кремнію до 4%	8	4

Продовження таблиці 4.2

1	2	3
Оксид хрому	0,25	1
Етанол	800	1000
Азотна кислота	3	5

Процес приготування шліфів завершується їх травленням. В цій процедурі застосовуються: спирт етанол для обезжирювання та 3 % процентний розчин азотної кислоти в спирті для травлення.

З таблиці 4.2 видно, що фактичні значення концентрації речовини для пилу з діоксидом кремнію до 4% та окислу хрому перевищують гранично допустимі концентрації. Враховуючи коротку тривалість шліфування та поліровки, для забезпечення безпечної роботи достатньо використовувати засоби індивідуального захисту – ШБІ «Лепесток 5». Для травників допустимі норми не перевищуються, тому ніяких засобів захисту використовувати не потрібно.

4.2.6 Виробниче випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відеодисплейних терміналів, ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [47].

При роботі з ЕОМ, яка входить в устаткування, виникає небезпека впливу на організм робітника: невикористаного рентгенівського випромінювання, ультрафіолетового випромінювання, електростатичного поля.

Для попередження соматичних та генетичних наслідків у відповідності з СП 1960-79 для побутової радіоелектронної апаратури (РЕА) встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання, яке не повинно перевищувати $2,78 \times 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від зовнішньої поверхні, яка обернена до оператора.

Потужність експозиційної дози НРВ в будь-якій точці простору на відстані 0,05 м від корпусу установки не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при робочому тижні 41 год. Враховуючи, що робота частково проводиться за ЕОМ, час роботи за монітором не перевищував 4 години за зміну, з технологічними перервами.

4.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

4.3.1 Розрахунок вентиляції

Примусова вентиляція, вона ж вентиляція з механічним спонуканням передбачає у своїй системі наявність певних пристроїв для транспортування повітряного потоку. Ці пристрої називаються вентилятори, підбір яких і є кінцевою метою, яку передбачає розрахунок примусової вентиляції, тобто розрахунок вентиляції з механічним спонуканням.

Температура в приміщенні повинна становити 23 °С, відносна вологість повітря 60%.

Обсяг повітрообміну (витяжна вентиляція), необхідний для видалення надлишкового тепла з приміщення, розраховується за формулою:

$$L_Q = \frac{Q_{\text{надл}}}{C_p r (t_{\text{вид.}} - t_{\text{прит.}})}, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{надл}}$ – надлишкове тепло, кДж/год;

C_p – теплоємність сухого повітря, $C_p = 1,005$ кДж/год;

r – щільність повітря, що надходить, $r = 1,293$ кг/м³ при 273К;

$t_{\text{вид.}}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, °С;

$t_{\text{прит.}}$ – температура приточного повітря.

Температура повітря, що видаляється з приміщення визначається з виразу:

$$t_{\text{вид.}} = t_{\text{р.з}} + \Delta t(H - 2), \quad (4.2)$$

де $t_{\text{р.з}}$ – температура повітря в робочій зоні, $t_{\text{р.з}} = 25$;

Δt – температурний градієнт по висоті приміщення, $\Delta t = 0,5$ °С/м;

H – відстань від полу приміщення до центру витяжного зонта, $H = 2,5$ м.

Таким чином, температура повітря, що видаляється з приміщення складає:

$$t_{\text{вид.}} = 29 + 0,5 \times (2,5 - 2) = 29,25 \text{ °С.}$$

Надлишкове тепло розраховується за формулою:

$$Q_{\text{надл}} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (4.3)$$

де Q_1 - тепловиділення від штучного освітлення, кДж/год;

Q_2 – тепловиділення людей, кДж/год;

Q_3 – надходження тепла через світлові прорізи, кДж/год.

Тепловиділення від штучного освітлення розраховується за формулою:

$$Q_1 = 3600 \times N_{\text{осв}} \times n, \quad (4.4)$$

де $N_{\text{осв}}$ – сумарна потужність джерел освітлення, кВт;

n – коефіцієнт теплових втрат, $n = 0,2$ для люмінесцентних ламп.

В приміщенні наявно 5 світильників з двома лампами ЛД30 (30 Вт) і 3 місцевих світильника з люмінесцентними лампами потужністю по 7 Вт.

Тоді за формулою отримуємо:

$$Q_1 = (5 \times 0,03 + 3 \times 0,007) \times 0,2 \times 3600 = 123,12 \text{ кДж/год.}$$

Тепловиділення людей розраховується як:

$$Q_2 = 3600 \times q_i \times n, \quad (4.4)$$

де q_i – тепло, яке виділяється людьми (чоловіками), в залежності від витрат енергії і температури в приміщенні, кВт;

n – кількість людей, які одночасно знаходяться в приміщенні.

Для розумової праці явні тепловиділення одної людини складають близько 55 Вт при 20 °С.

Розрахуємо Q_2 за формулою:

$$Q_2 = (0,055 \times 3) \times 3600 = 594 \text{ кДж/год.}$$

Розрахуємо надходження тепла через світлові прорізи:

$$Q_3 = 3600 \times F_{\text{ст}} \times q_{\text{ст}} \times A_{\text{ст}}, \quad (4.5)$$

де $F_{\text{ст}}$ – площа поверхні застелення, м²;

$q_{\text{ст}}$ – виділення тепла від сонячної радіації, кВт/м²; через 1 м² поверхні стекла (з урахуванням орієнтації за стороною світла), $q_{\text{ст}} = 90 \text{ Вт/м}^2$;

$A_{\text{ст}}$ – коефіцієнт врахування характеру застелення, $A_{\text{ст}} = 0,6$.

В приміщенні наявні 2 вікна розміром 2×1,8 м. Тоді маємо:

$$F_{\text{ст}} = 2 \times 2 \times 1,8 = 7,2 \text{ м}^2$$

З урахуванням усіх величин теплопостачання тепла через світлові отвори складають:

$$Q_3 = 3600 \times 7,2 \times 0,6 \times 0,09 = 1399,68 \text{ кДж/год.}$$

Таким чином, надлишкове тепло в приміщенні складає:

$$Q_{\text{надл}} = 123,12 + 594 + 1399,68 = 2116,8 \text{ кДж/год.}$$

Повітрообмін необхідний для видалення надлишкового тепла за формулою, маємо:

$$L_Q = \frac{2116,8}{1,005 \times 1,293 \times (29,25 - 23)} = 260,63 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, для видалення надлишку тепла в лабораторії потрібно встановлення витяжної вентиляції продуктивністю 260,63 м³/год.

Встановлена витяжна вентиляція марки С4.65-3.0, складається з витяжного отвору, через який повітря видаляється з приміщення.

4.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків [48].

Під час виконання науково-дослідницької роботи можливе виникнення наступних надзвичайних ситуацій: пожежі, землетрусу, вибуху, аварії на електроенергетичних системах, руйнування будівлі.

4.4.1 Пожежна безпека

Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) - це класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і

матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них з урахуванням особливостей технологічних процесів, розміщених в них виробництв [47].

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007, приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д) [47].

Можна зробити висновок, що приміщення лабораторії № 036-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії «Г» (в лабораторії є негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, спалимі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо) [47]. Найбільш пожежонебезпечним місцем в лабораторії є місце де прокладена електропроводка. Загоряння в приміщенні може спричинитися через коротке замикання в електропроводці. План евакуації із лабораторії в разі виникнення пожежі наведено на рис. 4.2.

На випадок пожежі існує план евакуації працівників з лабораторії № 036-9.

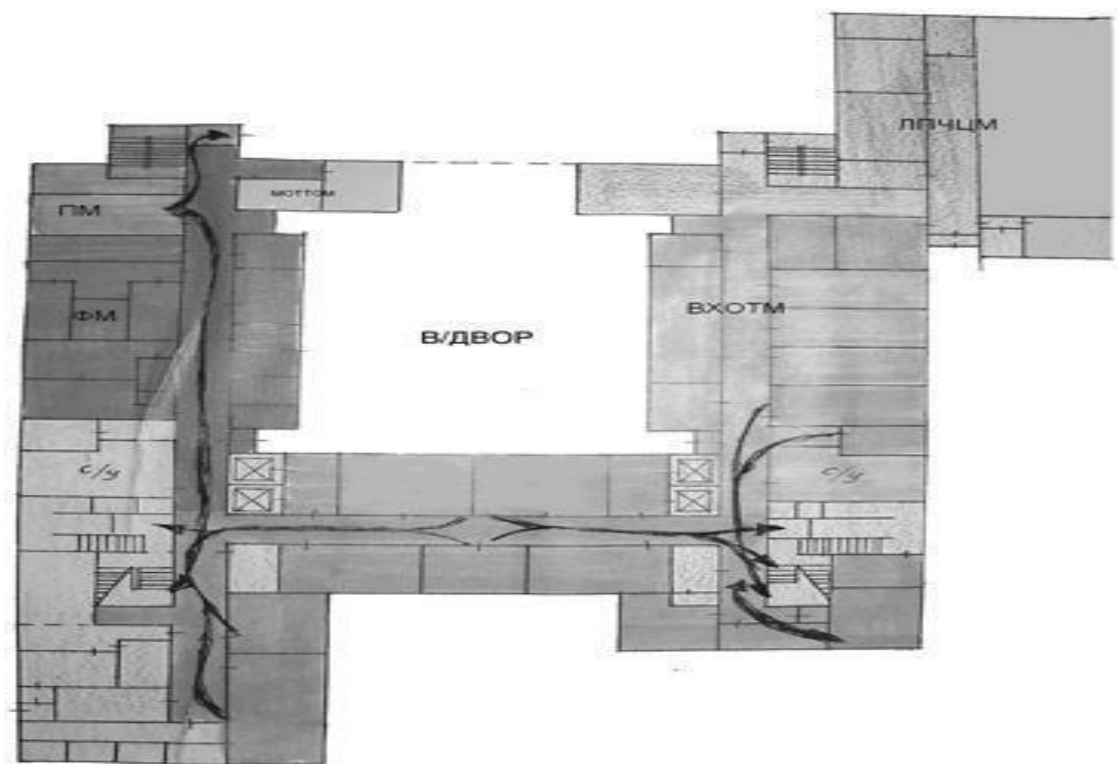


Рисунок 4.2 – План евакуації з лабораторії 034-9

Із засобів пожежогасіння у лабораторії наявні вогнегасники ОУБ-2. Засобами виявлення та оповіщення про пожежу є автоматичні датчики-сигналізатори типу ДТП. Засобом комунікації та оповіщення співробітників про пожежну ситуацію служить внутрішньо-службовий зв'язок.

4.4.2 Вимоги до безпеки в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків [48].

Під час виконання науково-дослідницької роботи можливе виникнення наступних надзвичайних ситуацій: пожежі, землетрусу, вибуху, аварії на електроенергетичних системах, руйнування будівлі.

4.4.3 Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці. У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яни настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання. У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний: – негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101; – приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо); – викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

4.5 Висновки до розділу 4

1. В даній роботі дослідження, які проводяться згідно плану, є екологічно чистими і не є джерелом забруднення навколишнього середовища.
2. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів, передбачає умови при яких може виникнути небезпека ураження організму.
3. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Мета розділу полягає в проведенні маркетингового аналізу стартап проекту для визначення можливостей його подальшого ринкового впровадження та визначення напрямків реалізації цього впровадження.

5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідея проекту направлена на створення нового покриття на сталі 40X13, що за своїми характеристиками буде мати кращі властивості: мікротвердості та зносостійкості (табл. 5.1 та табл. 5.2).

Потенційною технологією даного стартап-проекту є впровадження технології обробки сталі 40X13 методом ЕІЛ за схемою Cr - W - C.

Дослідження даної технології перебувають на стадії активного розвитку, тому неможливо провести повну оцінку ринкової спроможності даної технології.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Нова технологія створення покриття, що покращує фізико-механічні властивості поверхні сталі 40X13	1. Гірничо видобувна промисловість	Інструменти, що довго не потребують корегування (заточування)
	2. Машинобудівна промисловість	Деталі, які довше прослужать в умовах тертя та зношування
	3. Поліграфія	Більш міцні вироби, що здатні витримувати більші навантаження

Аналіз даних представлених у табл. 5.1 дав цілісне уявлення про зміст ідеї стартапу та можливі базові потенційні ринки, в межах яких слід шукати групи потенційних клієнтів.

Доцільно буде порівняти технологію обробки поверхні сталі 40X13 з конкурентами на прикладі, кінцевого продукту, обробленої ріжучої кромки леза поліграфічного обладнання.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробки модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

№	Техніко-економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/ концепції конкурентів		
		Леза поліграфічного обладнання		
		Мій проект	Конкурент 1 RavneKnives	Конкурент 2 КЛАСС-ИНЖИНИРИ НГ
1	Собівартість виробу	Дешева (S)	Висока (W)	Середня (N)
2	Екологічність	Висока (S)	Середня (N)	Середня (N)
3	Зносостійкість	Висока (S)	Середня (N)	Низька (W)
4	Мікротвердість	S	W	W

*W(слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона).

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей попереднього товару є підґрунтям для формування розуміння його конкуренто спроможності. В таблиці 5.3 наведено дані аудиту технології створення покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ анодами Cr, C, W.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність впровадження технології створення зміцнюючого покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
Нова технологія створення поверхні, що покращує фізико-механічні властивості поверхні сталі 40X13	ЕІЛ анодами W, C, Cr за семами <ul style="list-style-type: none"> • W - C - Cr • W - Cr - C • Cr - W - C • Cr - C - W 	Технологія наявна, можлива доробка	Доступна

Аналіз таблиці 5.3 свідчить про те, що зазначену ідею технологічно можливо реалізувати на виробництві. За даними дослідження було обрано найкраще покриття, з точки зору його фізико-механічних характеристик (мікротвердість, зносостійкість).

Аналіз таблиці 5.2 демонструє низьку собівартість вартість даної технології та її екологічність.

Для планування напрямків розвитку проекту з врахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій конкурентів, необхідно визначити ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту на ринок, та ринкові загрози, що можуть перешкоджати реалізації проекту. Попередня оцінка даного стартап-проекту на основі стану ринку та визначених потенційних областей застосування занесена до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців (на території України)	Класс-Инжиниринг RaveKnives
2	Загальний обсяг продаж, на 2018 рік.	359.8 млн. євро (RaveKnives)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності (в галузі або на ринку)	>1

Аналіз даних таблиці 5.4 демонструє, що ситуація на ринку має всі підстави для можливості впровадження модифікованого покриття на сталі 40X13 методом ЕІЛ. Також слід зазначити, що вітчизняні представники даного сегменту ринку відсутні. У табл. 5.5 визначено характеристики потенційних клієнтів

Таблиця 5.5 – Характеристики потенційних клієнтів

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачі в до товару
1	Збільшення експлуатаційного строку деталі	Класс-Инжиниринг, RaveKnives, Spyderco,	Технічні стандарти та обсяги виробництва	Вартість кінцевого продукту,

Продовження таблиці 5.5

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачі в до товару
2	Підвищення ріжучих характеристик	SOG, Wenger, Smith&Wesson ...		час експлуатації, надійність

Визначення потенційних клієнтів та їх характеристик дає змогу розглянути можливу реакцію майбутніх партнерів на несприятливі умови, що можуть виникнути в ринковому середовищі під час впровадження проекту на ринок. Для цього проведено аналіз ринкового середовища в ході якого розроблено таблиці, що відображають ринкове впровадження проекту та фактори, які йому перешкоджають (табл. 5.6 та табл. 5.7).

Таблиця 5.6 – Фактори загрози стартап-проекту по розробці модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність політично-економічної ситуації	Зменшення обсягів поставок та попиту	Перенаправлення експортних потужностей на інші напрямки, вихід на існуючі ринки

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Зменшення собівартості технології	Зменшення матеріально-технічних затрат	Збільшення обсягів виробництва та залучення нових клієнтів
2	Збільшення зносостійкості деталей	Застосування іншого виду обробки деталі	Економія коштів та більш екологічна продукція з точки зору збереження навколишнього середовища
3	Підвищення екологічності	Зниження екологічного податку	

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей розроблений на основі аналізу факторів загрози та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів та на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку і мають певну імовірність здійснення (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – SWOT-аналіз стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Покращені механічні властивості кінцевого виробу (мікротвердість, зносостійкість), що дає змогу збільшити строк експлуатації при цьому збільшити екологічність	Необхідно додаткове інвестування для створення прототипу пристрою для обробки деталей у промисловому масштабі, а також час для налагодження виробництва,

Продовження таблиці 5.8

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
(завдяки мінімальним витратам на матеріал обробки).	що може негативно позначитись на прибутку компанії
Можливості:	Загрози:
Приймати участь у проектах, що фінансуються компаніями для наукових розробок.	Нестабільність політично-економічної ситуації, що негативно впливає на обсяг коштів для інвестування

Дослідження даної технології виготовлення модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ ще триває, тому неможливо дати вичерпну інформацію стосовно ринкової спроможності та створити маркетингову модель товару. Магістерська робота була спрямована на дослідження фізико-механічних властивостей покриттів сформованих на поверхні сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W. Створення модифікованих покриттів методом ЕІЛ анодами Cr, C, W є перспективним методом для підвищення зносостійкості деталі на сталі 40X13.

5.2 Висновки до розділу 5

Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами Cr, C, W», засвідчив, що застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі 40X13 є перспективним.

Визначено, що можливість впровадження даної технології, опираючись на огляд потенційних груп клієнтів, незначна. Однак позитивним моментом є те, що головні конкуренти є потенційними клієнтами, що значно підвищує імовірність співпраці з компаніями.

ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість створення зміцнених покриттів (з мікротвердістю до 7 ГПа – 11,6 ГПа) товщиною від 15 мкм до 30 мкм шляхом електроіскрового легування сталі 40X13 за схемами W-Cr-C, W-C-Cr, Cr- W- C та Cr-C-W.

Виявлено, що найвищу мікротвердість (11,6 ГПа) легований шар має при ЕІЛ сталі в послідовності W-C-Cr.

2. Виявлено, що послідовність нанесення вольфраму, хрому та графіту в процесі електроіскрового легування сталі 40X13 впливає на кінетику формування легovanого шару, структуру та фазовий склад, поверхневу мікротвердість та стійкість до зношування.

3. Встановлено, що найбільшу зносостійкість має легований шар при послідовності легування Cr-W-C (в 3,6 разів в порівнянні з необробленим зразком), меншу зносостійкість мають легovanі шари нанесені в послідовності W-Cr-C (в 1,77 разів), у послідовності W-C-Cr (в 1,34 разів) та у послідовності Cr-C-W (в 1,24 рази).

4. Організація робочого місця та освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

5. Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Розробка модифікованого покриття на сталі 40X13, методом ЕІЛ анодами W, Cr та C» показав, що застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі 40X13 є перспективним.

CONCLUSIONS

1. The possibility of creation of reinforced coatings (with a microhardness of up to 7 GPa - 11.6 GPa) in thickness from 15 microns to 30 microns by means of electrospark alloying of 40X13 steel according to the schemes W-Cr-C, WC-Cr, Cr-W-Cr and Cr- CW

It was found that the highest microhardness (11.6 GPa) alloyed layer has an EIL steel in the sequence W-C-Cr.

2. It was found that the sequence of application of tungsten, chromium and graphite in the process of electrospark alloying of steel 40X13 affects the kinetics of formation of the alloyed layer, structure and phase composition, surface microhardness and wear resistance.

3. It was found that the highest wear resistance has a doped layer in the sequence of doping Cr-WC (3.6 times compared to the untreated sample), less wear resistance of the alloyed layers are applied in the sequence of W-Cr-C (1,77 times), in the sequence of WC-Cr (1.34 times) and in the Cr-CW sequence (1.24 times).

4. Organization of the workplace and lighting in the laboratory meet the requirements of sanitary norms. And the noise, vibration and radiation levels do not exceed the permissible limits.

5. Analysis of the market capacity of the startup project "Development of modified coating on steel 40X13, the ESA method of anodes W, Cr and C" showed that the application of this technology for the processing of any parts made of steel 40X13 is promising.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазаренко Н.И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами Электроискровая обработка металлов / Н.И. Лазаренко – М.: Изд-во АН СССР. 1960. – С. 36–66
2. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко – М.: Машиностроение, 1976. – 47 с.
3. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 320с
4. Повышение эффективности поверхностного упрочнения при электроискровом легировании деталей машин / Б.И. Лукичѳв, Ю.А. Белобрагин, С. В. Усов [и др.] // Электронная обработка материалов. 1987. - №4. - С.22 - 25.
5. Ким В.А. Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изношевания режущего інструмента / В.А. Ким – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 199с.
6. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании и формирование вторичной структуры на аноду / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химия обработки материалов. – 1986. – №4. – С.65-68.
7. Лубан Р.Б. О возможном механизме массопереноса при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С. Пеккер // ЭОМ. – 1991. – №8 – С.13 – 15.
8. Иванова Е.В. Феноменологическая модель электроискрового легирования / Е.В. Иванова // Статья в сборнике трудов конференции: “Качество в производственных и социально – экономических системах” – 2016 – С.183-185

9. Mulin Yu. I. Phenomenological description of regularities of surface layers formation under electric – spark alloying / Yu. I. Mulin, L. A. Klimova, D.V. Yarkov // Article – 2000

10. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева – М.: Наука, 1986. – 276 с.

11. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323с.

12. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко – М.: изд. АН МССР, 1959. – 183с.

13. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.В. Сычев – К. Наук. Думка, 1976, 220с.

14. Ковришкін М.О. Методи формування покриттів на різальному інструменті / М.О. Ковришкін, О.В. Шевченко, С.О. Довжук // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Кіровоградський національний технічний університет – 2010 – Вип. 23. – С. 344 – 351.

15. Zahid Ziyadkhan Sharifov. The anode material selection for electrospark alloying (ESA) and mass transition phenomena / Zahid Ziyadkhan Sharifov, Farid Gurbanov // The international journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation / Azerbaijan State Marine Academy, Baku – 2017 – Volume 11 – №4 – 623-626.

16. Лобачова Г.Г. Поверхневе зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хіміко-термічною обробкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Г.Г. Лобачова. – Київ, 2012. – 20 с.

17. Bejar M.A. / Surface hardening of metallic alloys by electrospark deposition followed by plasma nitriding / M.A. Bejar, W. Schnake, W. Saavedra, J.P. Vildosola // Journal of Materials Processing Technology // 2006 – Volume 176 – Issues 1-3 – pages 210 – 213.

18. Тугоплавкий металл вольфрам. Режим доступа: <http://www.metotech.ru/volfram-opisanie.htm>. – Дата доступа: 16.10.2018. – Метотехника.

19. Диаграмма состояния системы углерод-вольфрам (C-W). Режим доступа: <https://markmet.ru/diagrammy-splavov/diagramma-sostoyaniya-sistemy-uglerod-volfram-c-w>. – Дата доступа: 12.12.2018. – Образование, профессия, бизнес Металлургия MARKMET.

20. Лякишаев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем/ под общей реакцией Н.П. Лякишаева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996. –Т. 1 – С. 778–779

21. Nikolenko S.V. Investigation of Coatings Produced by the Electrospark machining methjd jf steel 45 with electrodes based on carbides of tungsten and titanium / S.V. Nilolenko // Properties of metals and physical chemistry of surface. – 2017 – 53(No.5) – pp. 543-549.

22. Влияние электроискрового легирования вольфрамового твердого сплава на его износ и коррозионную стойкость / И.А. Подчерняева, А. Панасюк, В.А. Лавренко, А.И. Юга, В.И. Березанская / Порошковая металлургия и металлокерамика – 1999. – Том 38. – Вип.5-6 – стр. 250-253.

23. Лякишаев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем – под общей реакцией Н.П. Лякишаева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996. –Т. 2 – С. 578–580

24. Nagender Naidu S.V. Phase diagrams of binary tungsten alloys / S.V. Nagender Naidu, A.M Sriramamurthy, P. Rama Rao // J. Alloy Phase Diagrams – 1986 V.2 N.3 P. 176-188

25. Хром как тугоплавкий, но очень полезный в строительстве металл. Режим доступа:

<http://stroyres.net/metallicheskie/vidyi/tsvetnyie/hrom/ponyatie-poleznost-i-osobennosti.html>. – Дата доступа: 17.10.2018. – Строительные материалы.

26. Tarellyk Viacheslav. Electrosark graphite alloying of steel surface: technology, properties and application / Viacheslav Tarellyk, A.V. Paustovskii, Yu.G. Tkachenko, O.P. Gaponova / Surface Engineering and Applied Electrochemistry – 2018. – 54(2) – p. 147-156.

27. Лякишаев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем – под общей реакцией Н.П. Лякишаева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996. – Т. 1 – С. 711–512

28. Бобырь С.В. Фазовые и структурные превращения в богатых железом сплавах системы Fe – С – Cr / С.В. Бобырь, Н.И. Репина, П.Д. Грушко // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. Научн. Тр. – Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України – 2005. – Вип.10. – С. 261-267.

29. Сидоренко С.І. Матеріалознавство і розробка електронної техніки / С.І. Сидоренко, Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова // Науковий вісник КУЕІТУ. – 2013. – №3-4(41-42). – С. 3-7.

30. Лякишаев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем – под общей реакцией Н.П. Лякишаева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996. – Т. 2 – С. 118–120

31. Burkov A.A./ Electrosark WC – Co coatinnngs with different iron concentration / A.A. Burkov // Welding international // 2017 – V. 32(1):1-4.

32. Oskolkova T.N. Surface hardening of hard Tungsен-Carbide Alloys: A Review // T.N.Oskolkova, A.M. Glezer / Journal steel in translation (Steel translal) – 2017 – 47(12) – page 788-796

33. Металлургический словарь. Принцип Шарпі. Режим доступа: https://metallurgy_dictionary.academic.ru/3831/%D0%A8%D0%90%D0%A0%D0%9F%D0%98_%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%9F. – Дата доступа: 12.12.18. – Академик

34. Марьянко А.А. В помощь выбирающему нож / А.А. Марьянко – М.: Изд - во “ Юниверсал Паблшинг хаус” 2005 – Издание 2 – С.7-

35. Сталь 40X13. Режим доступу: <http://www.promgroupchel.ru/%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C-40%D1%8513.html>. – Дата доступу: 16.10.2018. – РСТ Промгруппа

36. Сталь марки 40X13. Режим доступу: http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stn/40X13. – Дата доступу: 16.10. 2018. – Центральный металлический портал.

37. Физические методы восстановления деталей. Режим доступу: https://studopedia.su/15_184645_elektroiskrovoe-legirovanie.html. Дата доступу: 19.10.2018. – Электроискровое легирование.

38. Микроскопы металлографические агрегатные ЕС МЕТАМ РВ. Режим доступу: http://granat-e.ru/ec_metam_rv.html. Дата доступу: 21.10.2018. – Гранат.

39. Микротвердомер ЛОМО ПМТ-3М. Режим доступу: <http://lomo-microsystems.ru/Pmt-3M.html>. Дата доступу 11.12.2018. – Микроскопы АО “ЛОМО” Принадлежности, цифровые камеры, наблюдательные и спектральные приборы

40. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. №3. – С.12 – 16.

41. ДСН 3.3.6.042–99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

42. Основы охраны праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

43. Голінько В.І. Основы охраны праці: підручник / В.І. Голінько // М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

44. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько // М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
45. ПУЕ-2017 – Правила улаштування електроустановок.
46. Про охорону праці – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/-show/2694-12>. – Дата доступу: 10.12.2018
47. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
48. Кодекс цивільного захисту України, затверджений Верховною Радою України від 02.10.2012р. № 5403-V